



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO LOS AISLADORES
SÍSMICOS.**

Para optar al título de ingeniero civil.

Elaborado por

Br. Carlos Alberto Pichardo Ortiz.
Br. Fernando Cesar Morales Silva.
Br. Michael Alexander Osorio Fley.

Tutor

Msc. Ing. Yader Andrés Jarquín Montalván.

Asesor

Dr. Julio C. Miranda.

Managua, Noviembre de 2015

DEDICATORIA

A Dios por habernos guiado en todo el camino, apartándonos del mal, llevándonos y trayéndonos con bien a nuestros hogares, además por habernos dado la salud y la vida que son la base fundamental para poder salir adelante en cualquier trabajo que uno se propone.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA** (UNI), en especial a la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC), por habernos forjado y enseñado las bases necesarias que nos servirán en nuestra vida profesional a través de nuestros profesores que contribuyeron a nuestro aprendizaje, entendimiento y comprensión del conocimiento impartido por parte de ellos.

A nuestras familias que siempre creyeron en nosotros y estuvieron en todo momento brindándonos su apoyo incondicional.

Y además a las personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este tema, y de manera muy especial a dos personas, cuyos ejemplos y enseñanzas nos fueron de mucha utilidad para nuestra monografía ellos son, nuestro tutor el Msc. Ing. Yader Andrés Jarquín Montalván, y al Dr. Julio C. Miranda.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres que con sus esfuerzos supieron guiarnos en todo momento y a su apoyo incondicional, ya que sin ellos nada de esto fuera posible y ninguna de nuestras metas fueran completadas y además por habernos sembrado nuestros principios y valores para ser personas de bien.

A nuestros demás familiares que con sus enseñanzas y consejos supieron guiarnos de una u otra manera para lograr ser lo que somos ahora.

A todo el cuerpo docente universitario que de alguna u otra manera su enseñanza y su ejemplo nos ayudó a la formación de nuestros valores e identidad.

A nuestros amigos que conocimos durante toda nuestra vida universitaria, con los que compartimos muchas experiencias que serán recuerdos y vivencias que quedaran en nuestros mejores recuerdos.

RESUMEN

El principal objetivo de la presente tesis es desarrollar un programa a través de las utilidades que ofrece el software Visual Studio 2012, dicho programa será una aplicación útil en el diseño de aisladores sísmicos y servirá como una herramienta de respaldo en el análisis y diseño sísmico de edificios simétricos con aisladores en la base, en la ciudad de Managua”.

Capítulo 1: Contiene los aspectos generales acerca de la presente tesis, la causa e importancia de esta, la reseña histórica sobre el uso de los aisladores a nivel mundial así como la historia de la programación, además se plantea el objetivo general y específicos de la presente tesis.

Capítulo 2: En este capítulo encontraremos el marco teórico en el cual se menciona los conceptos generales de cada tipo de aislador sísmico, sus características mecánicas, sus ventajas y desventajas así como las limitantes en el uso de estos tipos de sistema de aislación.

Capítulo 3: En esta parte se mostrara el procedimiento de diseño del aislador FPS, siendo este el que presenta un mejor comportamiento en comparación a los demás aisladores los cuales son: Los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR), Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y los aisladores combinados (HDR+LRB) cuyo procedimiento de diseño se muestra en el Anexo D, para el diseño de estos aisladores se tomaron en cuenta los requerimientos de Normas Internacionales como el ASCE7-10 y la Nch 2745, así como libros muy especializados en el tema tales como: “DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES FROM THEORY TO PRACTICE” y “SEISMIC ISOLATION FOR DESIGNERS AND STRUCTURAL ENGINEERS”.

Capítulo 4: Aquí se describe estructuralmente el edificio en estudio, se muestran los resultados del análisis convencional de dicho edificio y se menciona la ventaja que tiene el Sap2000 v16 en el análisis de edificios tanto convencional como aislado.

Capítulo 5: En este capítulo se lleva a cabo el análisis del edificio en estudio con aisladores en su base, en este caso se realizó por medio del Sap2000 v16 un análisis No Lineal Tiempo-Historia en donde se utilizar el registro sísmico del terremoto de 1972 siendo considerado el sismo más desfavorable y más representativo de la ciudad de Managua, también se muestran los resultados de los periodos y masas participativas para cada tipo de sistema de aislación sísmica.

Capítulo 6: Finalmente se hará la comparación entre el comportamiento del edificio convencional y el aislado, a través de los parámetros que representan la respuesta sísmica del edificio tales como: El Periodo fundamental de la estructura, Los desplazamientos relativos de la estructura, Los cortantes Basales etc.

El Desarrollo y Funcionamiento del programa elaborado a través del software Visual Studio 2012 se puede apreciar en el Anexo A, en esta parte se describen los elementos principales para la elaboración de dicho programa, además se muestra una guía que indica el funcionamiento del mismo.

INDICE GENERAL

1. CAPITULO – 1: INTRODUCCION.....	1.
1.1.INTRODUCCION.....	1.
1.2. ANTECEDENTES.....	2.
1.2.1. Historia de los aisladores a nivel mundial.....	2.
1.2.2. Antecedentes del desarrollo de la Programación.....	5.
1.3. JUSTIFICACION.....	8.
1.4. OBJETIVOS.....	10.
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10.
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10.
2. CAPITULO - 2: MARCO TEORICO.....	11.
2.1. INTRODUCCION.....	11.
2.2. PRINCIPIOS DE LA AISLACIÓN SÍSMICA.....	13.
2.2.1. Respuesta sísmica de la estructura aislada.....	15.
2.2.2. Tipos de aisladores en la base.....	18.
2.2.2.1. Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR).....	18.
2.2.2.2. Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).....	19.
2.2.2.3. Aisladores de péndulo friccionante (FPS).....	20.
2.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE CADA TIPO DE AISLADOR.....	21.
2.3.1. Características mecánicas de los aisladores elastoméricos.....	21.

2.3.2. Características mecánicas de aisladores con núcleo de plomo (LRB).....	25.
2.3.3. Características mecánicas del aislador de péndulo friccional (FPS).....	27.
2.4. REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO ASCE 7-10.....	29.
2.5. UBICACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS AISLADORES.....	30.
2.5.1. Ventajas y desventajas del uso de aisladores en la base con goma o caucho.....	31.
2.5.2. Requerimientos para el diseño de aisladores en la base.....	32.
2.5.3. Validación de las propiedades de los aisladores por medio de ensayos estrictos debidamente regido por la norma de la IBC 2000.....	33.
2.5.3.1. Ensayos a realizar, basados en las recomendaciones del International Building Code 2000.....	34.
2.5.3.2. Validación concluyente del aislador, según la IBC-2000.....	35.
2.5.4. Aislamiento de estructuras y su relación con el tipo de suelo y diferentes parámetros importantes en su análisis y diseño.....	35.
 3. CAPITULO – 3: REQUERIMIENTOS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLACION BASAL.....	 37.
3.1. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AISLACION BASAL PARA LA ESTRUCTURA.....	37.
3.1.1. Diseño de los sistemas de aislación.....	37.
3.2. DISEÑO DE LOS AISLADORES.....	38.

3.2.1. Diseño del aislador de péndulo friccionante FPS.....	38.
3.2.1.1. Características finales del aislador de péndulo friccionante (FPS).....	60.
3.2.1.2. Características finales del aislador de alto amortiguamiento (HDR).....	61.
3.2.1.3. Características finales del aislador con núcleo de plomo (LRB).....	62.
3.2.1.3. Características finales de la combinación de aisladores HDR+LRB).....	62.
 4. CAPITULO – 4: CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO EN ESTUDIO.....	64.
4.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO A ANALIZAR.....	64.
4.1.1. Resultados del análisis convencional del edificio en estudio.....	65.
4.2. MODELACION COMPUTARIZADA DEL EDIFICIO.....	68.
 5. CAPITULO - 5: ANALISIS DE LA ESTRUCTURA CON AISLACION SISMICA DEL EDIFICIO EN ESTUDIO.....	69.
5.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO CON AISLACIÓN SÍSMICA.....	69.
5.2. ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA AISLADA.....	71.
5.2.1. Modelación del edificio aislado.....	71.
5.2.2. Análisis dinámico de la respuesta en el tiempo.....	72.

6. CAPITULO - 6: COMPARACION ENTRE EL COMPORTAMIENTO DINAMICO DE LA ESTRUCTURA CON BASE FIJA Y CON BASE AISLADA.....	87.
6.1. COMPARACION ENTRE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL Y AISLADA.....	87.
6.1.1. Periodos y masa participativa de la estructura convencional y la aislada.....	87.
6.1.2. Desplazamientos Máximos de la Estructura Convencional y Aislada.....	88.
6.1.3. Aceleraciones absolutas de la estructura.....	92.
6.1.4. Cortante basal de la estructura.....	94.
CONCLUSIONES.....	98.
RECOMENDACIONES.....	102.
BIBLIOGRAFIA.....	103.
CITAS BIBLIOGRAFICAS.....	104.
ANEXOS.....	I.
ANEXO A: DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DAB V1.0.....	II.
ANEXO B: PLANOS EN PLANTA DEL EDIFICIO EN ESTUDIO.....	XXXVI.
ANEXO C: DATOS GENERALES PARA EL CALCULO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS AISLADORES SISMICOS.....	XLIV.
ANEXO D: PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AISLACION: HDR, LRB Y HDR+LRB.....	XLIX.

ANEXO E: ANALISIS CONVENCIONAL DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO.....	CXLIV.
ANEXO F: CONCEPTOS BASICOS Y PALABRAS CLAVES.....	CLII.
ANEXO G: DEFINICION DE LAS PROPIEDADES BILINEALES DE LOS AISLADORES SISMICOS.....	CLVIII.
ANEXO H: EJEMPLO DE DISEÑO DEL AISLADOR HDR A TRAVES DE UNA HOJA DE CALCULO ELABORADA EN EXCEL.....	CLXVIII.

INDICE DE FIGURAS

Figura No.1: Comportamiento de una estructura de base fija y otra con base aislada.....	14.
Figura No.2: Grafico universal de los cortes basales equipotenciales, Marioni.....	17.
Figura No.3: Ejemplo de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.....	18.
Figura No.4: Comportamiento Bilineal.....	19.
Figura No.5: Corte esquemático de aislador con núcleo de plomo donde se aprecia la disposición de las láminas de goma-acero, y del núcleo de plomo.....	20.
Figura No.6: Aislador de péndulo friccionante FPS.....	21.
Figura No.7: Bucle de Histéresis de la prueba de mesa vibradora para FPS.....	28.
Figura No.8: Esquema final del diseño del aislador FPS.....	60.
Figura No.9: Esquema final del diseño del aislador HDR.....	61.
Figura No.10: Esquema final del diseño del aislador LRB.....	62.

Figura No.11: Esquema final del diseño del aislador HDR (caso combinado).....	63.
Figura No.12: Esquema final del diseño del aislador LRB (caso combinado).....	63.
Figura No.13: Primer Modo Traslacional del Edificio Convencional en Y...66.	
Figura No.14: Segundo Modo Traslacional del Edificio Convencional en X.67.	
Figura No.15: Tercer Modo Rotacional del Edificio Convencional en Z.....67.	
Figura No.16: Distribución en planta de los aisladores sísmicos del mismo tipo.....	70.
Figura No.17: Distribución en Planta de Aisladores Sísmicos de alto amortiguamiento y con núcleo de plomo (HDR y LRB).....	71.
Figura No.18: Componentes horizontal E-W de aceleración del terremoto de Managua 1972.....	74.
Figura No.19: Componente horizontal N-S de aceleración del terremoto de Managua 1972.....	74.
Figura No.20: Componente Vertical de aceleración del terremoto de Managua 1972.....	74.
Figura No.21: Primer modo traslacional en Y de la estructura con aisladores sísmicos HDR.....	76.
Figura No.22: Segundo modo traslacional en X de la estructura con aisladores sísmicos HDR.....	77.
Figura No.23: Tercer modo traslacional en z de la estructura con aisladores sísmicos HDR.....	77.
Figura No.24: Primer modo traslacional en Y de la estructura con aisladores sísmicos LRB.....	79.

Figura No.25: Segundo modo traslacional en X de la estructura con aisladores sísmicos LRB.....	80.
Figura No.26: Tercer modo traslacional en Z de la estructura con aisladores sísmicos LRB.....	80.
Figura No.27: Primer modo traslacional en Y de la estructura con aisladores sísmicos FPS.....	82.
Figura No.28: Segundo modo traslacional en X de la estructura con aisladores sísmicos FPS.....	82.
Figura No.29: Tercer modo traslacional en Z de la estructura con aisladores sísmicos FPS.....	83.
Figura No.30: Primer modo traslacional en Y de la estructura aislada con un sistema mixto de aisladores sísmicos HDR+LRB.....	85.
Figura No.31: Segundo modo traslacional en Y de la estructura aislada con un sistema mixto de aisladores sísmicos HDR+LRB.....	85.
Figura No.32: Tercer modo traslacional en Y de la estructura aislada con un sistema mixto de aisladores sísmicos HDR+LRB.....	86.
Figura No.33: Periodos de la Estructura Convencional y Aislada.....	87.
Figura No.34: Desplazamiento máximos en X de la estructura convencional y aislada.....	89.
Figura No.35: Desplazamiento máximos en Y de la estructura convencional y aislada.....	90.
Figura No.36: Derivas de Piso en X de la estructura convencional y aislada.....	91.
Figura No.37: Derivas de Piso en Y de la estructura convencional y aislada.....	91.

Figura No.38: Aceleraciones Absolutas en X de la estructura convencional y aislada.....	93.
Figura No.39: Aceleraciones Absolutas en Y de la estructura convencional y aislada.....	93.
Figura No.40: Cortante Basal en X de la estructura convencional y aislada.....	95.
Figura No.41: Cortante Basal en Y de la estructura convencional y aislada.....	96.
Figura No.42: Cortante Basal en X de los Sistemas Aislados.....	96.
Figura No.43: Cortante Basal en Y de los Sistemas Aislados.....	97.

INDICE DE TABLAS

Tabla No.1: Datos generales del aislador FPS.....	38.
Tabla No.2: Parámetros resultantes de amenaza para diferentes periodos de retorno en la ciudad de Managua.....	39.
Tabla No.3: Clasificación del sitio, tomada del ASCE7-10.....	40.
Tabla No.4: Coeficiente de sitio para periodos cortos F_a , tomada del ASCE7-10.....	41.
Tabla No.5: Coeficiente de sitio para periodos cortos F_v , tomada del ASCE7-10.....	41.
Tabla No.6: Coeficiente de amortiguación, tomada del ASCE7-10.....	43.
Tabla No.7.: Propiedades geométricas del diseño final del aislador FPS.....	60.

Tabla No.8: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador FPS.....	60.
Tabla No.9.: Propiedades geométricas del diseño final del aislador HDR.....	61.
Tabla No.10.: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador HDR.....	61.
Tabla No.11.: Propiedades geométricas del diseño final del aislador LRB.....	62.
Tabla No.12.: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador LRB.....	62.
Tabla No.13.: Propiedades mecánicas del diseño final de la combinación de aisladores (HDR+LRB).....	62.
Tabla No.14.: Propiedades geométricas del diseño final de la combinación de aisladores (HDR+LRB).....	63.
Tabla No.15.: Propiedades mecánicas del diseño final de la combinación de aisladores (HDR+LRB).....	63.
Tabla No.16.: Propiedades geométricas del diseño final de la combinación de aisladores (HDR+LRB).....	63.
Tabla No.17: Resultados del análisis modal espectral.....	65.
Tabla No.18: Características de los registros usados en el análisis de historia en el tiempo.....	73.
Tabla No.19: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso HDR.....	74.
Tabla No.20: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso LRB.....	79.

Tabla No.21: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso FPS.....	81.
Tabla No.22: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso combinado LBR + HDR.....	84.
Tabla No.23: Periodos de la Estructura Convencional y Aislada.....	87.
Tabla No.24: Desplazamiento máximos de la estructura convencional y aislada.....	89.
Tabla No.25: Derivas de piso de la estructura convencional y aislada.....	90.
Tabla No.26: Aceleraciones Absolutas de la estructura convencional y aislada.....	92.
Tabla No.27: Cortante Basal de la estructura convencional y aislada.....	95.

CAPITULO 1 – INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION

Nicaragua es uno de los países más propensos a amenazas sísmicas, principalmente en la zona C a causa de las abundantes fallas que la atraviesan de este a oeste, así como al fenómeno de subducción generado por el choque de la placa Coco y Caribe y también por formar parte de la zona del cinturón de fuego del pacifico, es por eso que una de las perspectivas que se tiene de esta tesis es incentivar a la comunidad de ingenieros del país a implementar nuevos sistemas tecnológicos en el diseño sísmico como lo es el sistema de aislación en la base y de esta manera mejorar el comportamiento dinámico de las edificaciones para reducir los daños estructurales y proteger la vida de las personas.

De manera general esta investigación se basa en la creación de un software el cual será utilizado para el diseño de aisladores en la base de los edificios simétricos con el propósito de mejorar la rapidez y precisión en el cálculo de las propiedades generales que componen el sistema de aislación, y a la vez será aplicado en el análisis sísmico de un edificio con aislación basal de tal manera de poder establecer las diferencias entre el comportamiento dinámico de una estructura aislada y una con base fija a través del modelado en el programa SAP2000 V16. Este software será creado a través del programa visual Basic 2012, debido a que este contiene todas las características necesarias para crear cualquier tipo de aplicación, con una gran capacidad gracias a su avance en la incorporación de múltiples tipos de datos, funciones, utilidades etc. Visual Basic nos creara un entorno seguro y confiable en donde podremos desarrollar de manera eficiente, rápida y sencilla nuestro propio software.

Además nos fundamentaremos en los requerimientos contemplados en el ASCE 7-10 y de las diferentes bibliografías consultadas sobre el tema (FEMA 356, Nch 2745, Tesis, Libros digitales, etc.).

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Historia de los aisladores a nivel mundial

El concepto de aislación sísmica ha sido desarrollado desde hace más de 100 años; sin embargo, recién en los últimos 40 años se ha ido difundiendo para ser aplicado de forma práctica y sólo en los últimos 15 años su aplicación se ha ido incrementando de forma exponencial por el buen desempeño que presentaron los pocos edificios aislados ante los sismos.

En el año 1909 J.A. Calantarients del Reino Unido le escribió una carta al Director del servicio sismológico de Chile, en la cual, afirmaba que un edificio esencial podía construirse en un país sísmico con total seguridad si es que había una junta entre la base de la estructura y el suelo rellena de un material fino (arena, mica o talco) que le permitiese deslizarse durante el evento sísmico.

El inglés John Milne, quien fue profesor de Ingeniería de Minas en la Universidad de Tokyo entre 1876 y 1895, realizó varios experimentos de aislación sísmica: instrumentaba una estructura aislada sísmicamente y la sometía a un movimiento sísmico. En su primer experimento, la estructura estaba construida sobre unas esferas de deslizamiento de 10 pulgadas de diámetro; sin embargo, aparentemente el edificio no tenía un buen desempeño frente a cargas de viento así que volvió a realizar el ensayo varias veces hasta que determinó que para esferas de diámetro $\frac{1}{4}$ de pulgada la estructura se volvía estable para cargas de viento.

A finales de la década de los 70' unos pocos edificios aislados fueron construidos en Japón. Fue el inicio del desarrollo de los SREI (Steel reinforced elastomer isolator), en los cuales, se vulcanizan las capas de caucho y las placas de acero intercaladas con el fin de aumentar la rigidez vertical. Entre 1985 y 1994, durante el boom de la economía japonesa, el número de edificios aislados empezó a incrementarse a razón de 10 edificios por año.

En 1978 se construyó en viaducto de Toe-toe en North Island, en Nueva Zelanda la primera estructura con aisladores sísmicos hechos con capas intercaladas de caucho y acero con un núcleo de plomo en el centro para que ayude a disipar la energía. Este tipo de aisladores llamados LRB (Lead Rubber Bearing) son de amplio uso actualmente.

Un pequeño número de edificios aislados fueron construidos en Nueva Zelanda e Italia principalmente por ser muy importantes. En 1981 se terminó el primer edificio aislado con LRB: Edificio William Clayton en Wellington, Nueva Zelanda.

El primer edificio aislado en los Estados Unidos es Foothills Communities Law and Justice Center (FCLJC) ubicado en el Rancho Cucamonga, Los Ángeles. Este edificio construido a inicios de 1984 y terminado a mediados de 1985 fue hecho sobre aisladores elaborados con caucho de alto amortiguamiento natural. El mismo sistema de aisladores de alto amortiguamiento fue empleado en el Fire Command and Control Facility (FCCF).

En 1996 James M. Kelly da a conocer tres ejemplos de los primeros edificios aislados. Dos de ellos fueron construidos sobre esferas: un edificio en Sevastopol, Ucrania y un edificio de cinco pisos en México; y el tercero, un edificio de cuatro pisos para el observatorio sismológico del estado de Beijing sobre una capa de arena. En 1992, Eisenberg, describe a un edificio construido en 1959 en Ashkhabad, Turkmenistán, el cual, estaba suspendido por cables. En 1969 se construyó el primer edificio aislado con bloques de caucho: la escuela Pestalozzi de tres pisos hecha de concreto en Skopje, Yugoslavia.

En Estados Unidos el proceso de la elaboración de códigos que incluyeran pautas para el diseño con aisladores sísmicos empezó con una simple publicación de la Asociación de Ingenieros estructurales del Norte de California llamada "Tentative Seismic Isolation Design Requirements" (SEAOC 1986), la cual, se basaba principalmente en el diseño con métodos estáticos. En el año 1990 los miembros

del comité sismológico del SEAOC deciden incluir en su “Blue Book”, un apéndice con los requerimientos de “General Requirements for the Design and Construction of Seismic Isolated Structures”. Esta publicación fue considerablemente modificada y se incluyó como un apéndice no obligatorio del capítulo 23 en la versión del año 1991 del UBC (Uniform Building Code) con el nombre de “Earthquake Regulations for Seismic-Isolated Structures”.

Tanto el comité sismológico del SEAOC como el del UBC han ido revisando periódicamente sus códigos y han ido actualizándolos (SEAOC 1996, UBC 1994 y 1997). En las últimas versiones el diseño se basa fundamentalmente en el análisis dinámico de las estructuras. Por otro lado, por encargo del Consejo de Seguridad Sísmica para Edificios, se incorporaron los requerimientos para el diseño de estructuras con aislación sísmica y disipación de energía en los requerimientos de NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) en el año 1995. Esos requerimientos fueron modificados en la versión del año 1997, en la que los documentos del SEAOC, UBC y NEHRP fueron compatibilizados.

En el caso de Sudamérica, Chile ha sido uno de los primeros países en incorporar aisladores sísmicos a sus estructuras. Cuenta además con la norma Chilena NCh2745 –2003 que es el resultado de la adaptación a la realidad chilena del código UBC (Uniform Building Code) del año 1997 y su compatibilización con la norma chilena NCh433.Of1996. Entre los edificios actualmente aislados en Chile se tiene:

Un bloque del conjunto habitacional Comunidad Andalucía construido entre los años 1991 y 1992 para un estudio hecho por la Universidad Católica de Chile, el centro médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile construido en el año 2000 y el Hospital Militar inaugurado en el año 2008.

Antes del terremoto de Kobe (1995) existían 85 edificios aislados en Japón. El buen desempeño que tuvieron dos estructuras aisladas en Kobe hizo que el uso

de aisladores sísmicos se incrementara abruptamente: aproximadamente veinte edificios por mes. Para 1998 ya había 600 edificios aislados.

Durante el sismo de Northridge (California, 1994) cinco estructuras aisladas presentaron un buen comportamiento. Para el año 1998 ya había cuarenta edificios aislados en Estados Unidos. En los últimos años el concepto de aislación sísmica se ha ido extendiendo y ha sido aceptado por varios diseñadores debido al excelente desempeño que las estructuras aisladas han tenido durante los sismos de Northridge (California, 1994), Kobe (Kobe, 1995) y recientemente en Chile (Región del Bio-Bio, 2010). La tendencia de la construcción de edificios aislados en Chile es muy similar a la experimentada en Japón y Estados Unidos.⁽¹⁾

En Nicaragua, a raíz del terremoto de Managua en 1972, los franceses ofrecen usar su técnica de aislamiento sísmico en edificios públicos. El entonces Jefe de la Guardia Nacional y presidente del Comité Nacional de Emergencia Anastasio Somoza Debayle accede, para un edificio de la Cementera Nacional. Parte del plan era que dos ingenieros nicaragüenses fuesen educados en Francia en diseño de estructuras. Solo uno de ellos finalmente viaja a Francia. En cuanto al edificio, se hicieron los cálculos, se hicieron los planos, pero nunca se construyó si se hubiese construido hubiera sido el primero en el mundo con aisladores de base modernos.

Cuando el nuevo edificio del SINAPRED estuvo en la fase de diseño se enviaron sus planos para el diseño del sistema de aislamiento, estos diseños fueron realizados por el Dr. Julio Miranda, sin embargo igual que en el edificio de la cementera no se llevó a cabo su implementación.

1.2.2. Antecedentes del desarrollo de la Programación

Para crear un programa, y que la computadora lo intérprete y ejecute las instrucciones escritas en él, debe usarse un lenguaje de programación. En sus inicios las computadoras interpretaban sólo instrucciones en un lenguaje específico, del más bajo nivel, conocido como código máquina, siendo éste excesivamente complicado para programar. De hecho sólo consiste en cadenas de números 1 y 0 (sistema binario). Para facilitar el trabajo de programación, los primeros científicos que trabajaban en el área decidieron reemplazar las instrucciones, secuencias de unos y ceros, por palabras o letras provenientes del inglés; las codificaron y crearon así un lenguaje de mayor nivel, que se conoce como Assembly o lenguaje ensamblador. Por ejemplo, para sumar se usa la letra A de la palabra inglesa add (sumar). En realidad escribir en lenguaje ensamblador es básicamente lo mismo que hacerlo en lenguaje máquina, pero las letras y palabras son bastante más fáciles de recordar y entender que secuencias de números binarios.

A medida que la complejidad de las tareas que realizaban las computadoras aumentaba, se hizo necesario disponer de un método sencillo para programar. Entonces, se crearon los lenguajes de alto nivel. Mientras que una tarea tan trivial como multiplicar dos números puede necesitar un conjunto de instrucciones en lenguaje ensamblador, en un lenguaje de alto nivel bastará con sólo una. Una vez que se termina de escribir un programa, sea en ensamblador o en algunos lenguajes de alto nivel, es necesario compilarlo, es decir, traducirlo completo a lenguaje máquina.¹ Eventualmente será necesaria otra fase denominada comúnmente link edición o enlace, durante la cual se anexan al código, generado durante la compilación, los recursos necesarios de alguna biblioteca. En algunos lenguajes de programación, puede no ser requerido el proceso de compilación y enlace, ya que pueden trabajar en modo intérprete. Esta modalidad de trabajo es equivalente pero se realiza instrucción por instrucción, a medida que es ejecutado el programa.

La definición moderna de desarrollo ágil de software evolucionó a mediados de la década de 1990 como parte de una reacción contra los métodos de “peso pesado”, muy estructurado y estricto, extraídos del modelo de desarrollo en cascada. El proceso originado del uso del modelo en cascada era visto como burocrático, lento, degradante e inconsistente con las formas de desarrollo de software que realmente realizaban un trabajo eficiente.

En el año 2001, miembros prominentes de la comunidad se reunieron en Snowbird, Utah, y adoptaron el nombre de "métodos ágiles". Muchos métodos similares al ágil fueron creados antes del 2000. Entre los más notables se encuentran: Scrum (1986), Crystal Clear (cristal transparente), programación extrema (en inglés eXtreme Programming o XP, 1996), desarrollo de software adaptativo, feature driven development, Método de desarrollo de sistemas dinámicos (en inglés Dynamic Systems Development Method o DSDM, 1995).

Kent Beck creó el método de Programación Extrema (usualmente conocida como XP) en 1996 como una forma de rescatar el proyecto del Sistema exhaustivo de compensaciones de Chrysler (C3). Mientras Chrysler cancelaba ese proyecto, el método fue refinado por Ron Jeffries⁽²⁾.

1.3. JUSTIFICACION

Nicaragua es un país con alto riesgo sísmico principalmente en la zona del pacífico en donde han acontecido fuertes movimientos telúricos como el ocurrido en Managua en el año de 1972 dejando cuantiosos daños en las estructuras y miles de pérdidas de vida, es por tal razón que el país debe desarrollarse en el área de la sismo- resistencia aprovechando el desarrollo de innovadores métodos de disipación de energía como lo son los aisladores sísmicos que han resultado ser de mucho éxito a nivel mundial gracias al buen comportamiento que han tenido los edificios ante sollicitaciones sísmicas.

En nuestro país la única respuesta que se ha implementado para mitigar la amenaza sísmica es la utilización de la construcción antisísmica convencional la cual busca prevenir el colapso de los edificios preservando la vida de sus habitantes, sin embargo dichos edificios se encuentran expuestos a grandes deformaciones que puede causar daños severos y hasta el colapso de los mismos, mientras tanto una estructura con un sistema aislado presenta un mejor comportamiento dinámico a causa de que gran parte de la fuerza sísmica es absorbida por los aisladores logrando de esta manera disminuir los daños estructurales y no estructurales de la edificación, asegurar la operación de edificios esenciales durante y después de un sismo y sobre todo salvaguardar la vida de las personas.

Asimismo, un edificio que cuente con aisladores sísmicos, puede tener menores costos a lo largo de su ciclo de vida que una construcción similar convencional, es por tales motivos que se ha tomado la iniciativa de crear un software con el propósito de diseñar las bases aisladas y a la vez sirva como una herramienta útil o de apoyo al momento de que en el país se logre implementar en un futuro este tipo de método innovador y avanzado como lo es la aislación sísmica.

El desarrollo de Softwares orientados a la modelación, análisis y dimensionamiento de estructura a nivel mundial, ha sido otra fuente de motivación para la elaboración de este programa que vendrá de ser de mucha ayuda para incentivar en el país el desarrollo de la sismo-resistencia.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

Estudio comparativo del análisis sísmico de una estructura convencional vs una estructura con base aislada.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Estudiar el procedimiento de diseño y comportamiento de los sistemas de aislación que se abordaran en la presente tesis (HDR, LRB, FPS y HDR+LRB).
- Elaborar un software para el análisis y diseño de bases aisladas.
- Modelar mediante el SAP2000 la estructura con base fija y con base aislada y establecer las diferencias entre el comportamiento dinámico de una estructura con base empotrada y una con bases aisladas.

CAPITULO 2 - MARCO TEORICO

2.1. INTRODUCCION

Si vemos el problema de un sismo desde el punto más básico, consiste en que el sismo genera principalmente movimientos horizontales del suelo, a través de ondas que se propagan por él, estos movimientos horizontales son las principales causas que se produzcan daños en los edificios, ya que estos están conectados al suelo a través de las fundaciones. Estas ondas poseen sus propias frecuencias y periodos que excitan a la estructura, provocando que se manifieste las frecuencias y periodos propios de la estructura, generándose aceleraciones y deformaciones que afectan directamente a la estructura propia del edificio.

En edificios tradicionales se recurre a la ductilidad estructural propia, lo cual puede ser riesgoso ya que se asignan a la estructura valores de ductilidad muy difíciles de probar y controlar, además de estar admitiendo roturas parciales de la misma estructura que se debe proteger.

Un objetivo fundamental de un óptimo diseño sísmico es minimizar el desplazamiento entre pisos y las aceleraciones de los pisos presentes en la estructura. Los efectos de los desplazamientos causan daños a los componentes no estructurales, a equipos y a conexiones. Se podría minimizar los desplazamientos interpisos rigidizando la estructura, pero esto además de ser una solución cara, conduce a la amplificación de los movimiento de la base, lo cual se traduce en altas aceleraciones en los pisos generando posibles daños al equipamiento interno, a la vez para disminuir estas aceleraciones se podría hacer utilizando un sistema más flexible pero esto nos lleva al problema inicial de tener considerables desplazamientos entre pisos.

Por lo cual si es posible independizar la estructura del suelo, se reducirían notablemente los daños, ya que la estructura “no sentiría” el movimiento del suelo.

La estrategia de diseño sismo resistente que permite generar la independencia estructura-suelo se denomina aislamiento basal, esta es una técnica novedosa que se ha ido desarrollando y perfeccionando en el tiempo, convirtiéndose en un sistema confiable, práctico que entrega una gran protección sísmica a la estructura y sus componentes; y que ha tenido excelentes resultados en los proyectos en donde se ha implementado.

El concepto de aislamiento de base es desacoplar al edificio o estructura de los componentes horizontales del movimiento del suelo interponiendo elementos estructurales con rigidez horizontal baja entre la estructura y la fundación. Esto permite “ablandar” la respuesta sísmica de la estructura logrando una frecuencia fundamental que es mucha más baja que su frecuencia como base fija y las frecuencias predominantes del movimiento del suelo.

Dicho de otra manera, es que al introducir esta alta flexibilidad horizontal se aumenta el período de la estructura alejándola de la zona de mayor energía sísmica. Siendo una de las mejores soluciones práctica para minimizar simultáneamente los desplazamientos interpisos (drifts) y las aceleraciones de los pisos de la estructura, concentrando los desplazamientos en el nivel de aislamiento ⁽³⁾.

Por tanto decimos que: El aislamiento sísmico es una técnica de diseño sismo resistente que consiste en introducir un elemento de apoyo de alta flexibilidad o baja resistencia que independiza a la estructura del movimiento que se propaga por el suelo donde ésta se funda. Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija.

Numerosos estudios teóricos, análisis numéricos y ensayos de laboratorio demuestran el excelente comportamiento que puede lograr este sistema de la protección de estructuras sometidas a eventos sísmicos moderados y severos. Entonces, es importante destacar que el análisis dinámico de estos sistemas

juega un rol fundamental en la evolución del desempeño deseado por el diseñador ⁽⁴⁾.

El termino aislamiento de base, utiliza la palabra aislada como estado de ser separado y la base como una parte que soporta desde abajo o sirve como una base para un objeto o estructura (según el diccionario de Oxford). Como se sugiere en el sentido literal, la estructura (un edificio, un puente o pieza de equipo) se separa desde su fundación. La terminología original de aislamiento de base se sustituye más comúnmente con aislamiento sísmico en la actualidad, lo que refleja que en algunos casos la separación está en algún lugar encima de la base - por ejemplo, en un puente, la superestructura puede ser separado de las columnas de la subestructura. En otro sentido, el término aislamiento sísmico es más preciso de todos modos en que la estructura está separada de los efectos del sismo, o un terremoto.

Intuitivamente, el concepto de la separación de la estructura del suelo para evitar daños del terremoto es bastante sencillo de entender. Después de todo, en un terremoto los movimientos de tierra son los que causan la mayoría de los daños a las estructuras. Por ejemplo, Un avión volando sobre un terremoto no se ve afectada. Así, el principio es simple. Separar la estructura del suelo. El suelo se moverá, pero el edificio no se moverá ⁽⁵⁾.

2.2. PRINCIPIOS DE LA AISLACIÓN SÍSMICA

Los principios en los cuales se basa el funcionamiento de la aislación sísmica son dos: En primer lugar, la flexibilización del sistema estructural o alargamiento del período, y en segundo lugar, el aumento del amortiguamiento.

La flexibilización o alargamiento del período fundamental de la estructura se logra a través de la introducción de un piso blando entre el suelo de fundación y la superestructura. Intuitivamente se reconoce que la rigidez lateral de este piso

blando es mucho menor que la rigidez lateral de la superestructura, el sistema tenderá a deformarse sólo en la interface de aislación, transmitiendo bajos esfuerzos cortantes a la superestructura la que sufre un movimiento de bloque rígido, por ende sin deformación ni daño durante la respuesta sísmica. Por este motivo, el aislamiento de base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos firmes.

El aumento del amortiguamiento viene dado principalmente por el sistema de aislación utilizado. Este aumento de amortiguamiento busca reducir la demanda de deformaciones sobre el sistema de aislación y la superestructura sin producir un aumento sobre las aceleraciones de esta última (DE LA LLERA, 1998).

Como se muestra en la figura, el hecho de implementar aisladores sísmicos en la base hace ventajoso el comportamiento de la estructura debido a que evita los efectos más dañinos que se pueden producir en la estructura a causa de los esfuerzos resultantes de los desplazamientos relativos entre pisos ⁽⁶⁾.

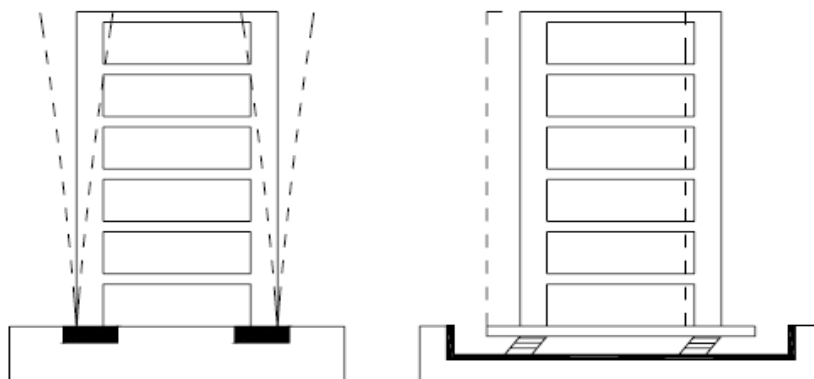


Figura No.1: Comportamiento de una estructura de base fija y otra con base aislada.

Dicho de otra forma, el aislamiento basal proporciona:

- Flexibilidad horizontal de modo de alargar el período fundamental de vibración de la estructura a una zona de menor aceleración espectral.

- Amortiguamiento y disipación de energía, de modo de reducir la demanda de deformación sobre el sistema de aislación
- Resistencia para cargas de servicio, de manera de evitar vibraciones molestas ⁽⁷⁾.

2.2.1. Respuesta sísmica de una estructura aislada.

En cuanto a la respuesta se tiene que el primer modo dinámico de la estructura aislada involucra sólo deformación del sistema de aislamiento, la estructura por sobre él se mantiene prácticamente rígido. En una estructura aislada el primer modo representa la casi totalidad de la respuesta. Los modos superiores que producen deformación en la estructura son ortogonales al primer modo y consecuentemente al movimiento del suelo, estos modos superiores no participan del movimiento, ya que las altas energías del movimiento del suelo en estas frecuencias superiores no pueden ser transmitidas dentro de la estructura. Además en una estructura aislada tendrá generalmente dos frecuencias modales traslacionales (modo aislado traslacional) prácticamente iguales, asociadas al modo fundamental; la frecuencia torsional fundamental del sistema (modo aislado torsional) puede diferir considerablemente de las frecuencias fundamentales traslacionales, dependiendo de la ubicación en planta de los aisladores y sus rigideces relativas, aunque en distribuciones uniformes la razón de frecuencia torsional y lateral es similar a 1.

Se puede decir que el sistema de aislamiento no absorbe propiamente la energía del terremoto, sino que más bien la desvía a través de la dinámica del sistema, este efecto no depende netamente de la amortiguación, pero un cierto nivel de amortiguación es beneficioso porque conduce a una menor demanda de deformación sobre el sistema de aislación, lo que significa una reducción de la fuerza de corte que actúa sobre el sistema de aislación y las superestructura y para suprimir posibles resonancias en la frecuencia del aislamiento.

El nivel óptimo de amortiguamiento del sistema depende fundamentalmente del objetivo del diseño en lo referente a la demanda de deformaciones y

aceleraciones, teniendo presente que un aumento excesivo del amortiguamiento produce al aumento de las aceleraciones del piso. Para conseguir esta favorable disipación se pueden utilizar dispositivos de plomo, elastómeros ya sea naturales o con algún tipo de aditivo o también la fricción entre dos metales.

Para que el efecto de aislación sea beneficioso la superestructura debe ser rígida con un período propio del orden de los 0.6 seg., para así inducir un período fundamental del conjunto del orden de 2 a 3 seg., y además de modificar el período también se modifica las propiedades del amortiguamiento (incremento de amortiguamiento a valores del orden del 10%) del sistema estructural de modo que los esfuerzos inducidos por la excitación son considerablemente menores.

De lo anterior se tiene que la relación entre el periodo final del conjunto y de la superestructura debe ser mayor de 3, teniendo presente que el diseño debe asegurar que en un sismo máximo, la superestructura no se plastifique y responda siempre en régimen elástico.

Para visualizar como afecta en la respuesta sísmica, principalmente en las aceleraciones y desplazamientos, el incluir un sistema de aislación en la estructura se presenta un gráfico desarrollado por Marioni (Presidente del Comité Europeo de Normalización de Apoyos y Dispositivos Antisísmicos) en el cual en el eje de las ordenadas se representan los desplazamientos laterales del baricentro de la estructura, en el de las abcisas las aceleraciones máximos espectrales; en líneas que son hipérbolas las energías cinéticas y en rayos recios que parten del origen los períodos.

El grafico se muestra en la figura, aplicado a una estructura que tiene un periodo de 0.6 seg y una aceleración máxima de 0.66, de donde se ve que el desplazamiento es de 5.6 cm, luego si a esta estructura le implementamos un sistema de aislación que aumente el periodo a 2 seg, para saber que sucede se traza la curva equipotencial de $A/g = 0.66$ y donde esta curva intercepte al rayo de

$T = 2$ seg, se determina gráficamente el desplazamiento estructural y la aceleración, en este caso la aceleración fue de 0.19 y el desplazamiento de 19.4 cm.

Con este ejemplo se puede ver fácilmente que realmente las aceleraciones se reducen considerablemente al 30 % de la inicial, al contar con un sistema de aislación basal logrando disminuir los esfuerzos de los elementos que componen la estructura; el desplazamiento aumenta, pero este puede ser controlado a través de la disipación de energía y amortiguamiento que se puede introducir en el aislador, además que el desplazamiento es conllevado por el aislador no generando desplazamientos relativos significativos en la superestructura.

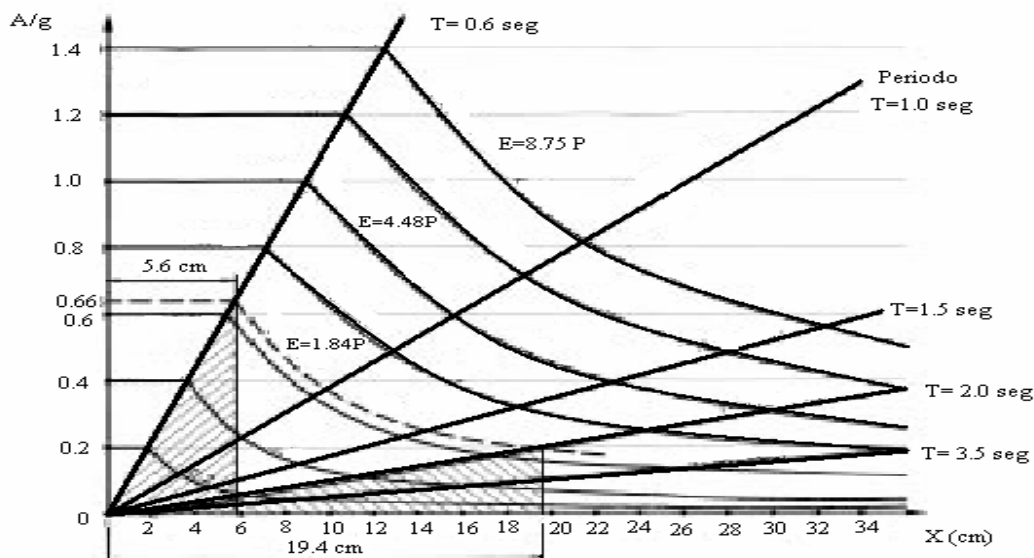


Figura No.2: Grafico universal de los cortes basales equipotenciales, Marioni.

Un aspecto que es importante tener en cuenta es que los sistemas de aislamiento deben contar con una rigidez alta para bajos niveles de carga, esto quiere decir que la estructura no vibre bajo cargas frecuentes, tales como sismos leves o cargas de viento. Como se verá para esto se han desarrollado elastómeros especiales que a pequeñas deformaciones presentan un alto módulo de corte y que por ende son rígidas bajo estas condiciones, pero que a mayores

deformaciones se comporta como aislador; el sistema friccional también posee un nivel de carga para comenzar a actuar ⁽⁸⁾.

2.2.2. Tipos de aisladores en la base

Los Sistemas de Aislación y Disipación Sísmica basal, están dispuestos, entre la subestructura y la superestructura de edificios, puentes y también en algunos casos, en la misma superestructura de edificios, que permiten mejorar la respuesta sísmica de ellos, aumentando los periodos y proporcionando amortiguamiento y absorción de energía adicional, reduciendo sus deformaciones según sea el caso.

Estos sistemas tienen sus propias características, propiedades y diferente manera de funcionamiento, pero dan resultados similares en cuanto a la respuesta ante un sismo, los 3 sistemas más conocidos y los que serán desarrollados en esta monografía son los siguientes:

2.2.2.1. Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR)

El desarrollo de un caucho natural compuesto con suficiente amortiguamiento para eliminar la necesidad de un sistema de amortiguamiento suplementario fue desarrollado en 1982 por la asociación de investigación de los productores de caucho de malasia del Reino Unido. El amortiguamiento es incrementado por la adición de bloques de carbón extrafino, aceites, resinas y otros. El amortiguamiento es incrementado a niveles entre el 10% - 20% para deformaciones por corte de orden del 100%.

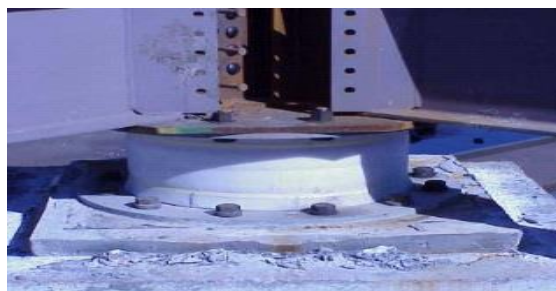


Figura No.3: Ejemplo de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.

El material es no lineal para deformaciones por corte menores que el 20% y es caracterizado por su alta rigidez y amortiguamiento el cual tiende a minimizar la respuesta bajo cargas de viento o sismos pequeños. Para deformaciones por corte entre el 20% y el 120% el módulo de corte se incrementa debido al proceso de cristalización por deformación del caucho lo cual va acompañando con un incremento en la energía disipada. Este incremento en rigidez y amortiguamiento ha sido dirigido para producir un sistema que es rígido para pequeñas solicitaciones, casi lineal y flexible para un nivel de diseño y que puede limitar los desplazamientos para niveles de sollicitación mayor.

El amortiguamiento en este tipo de aisladores no es ni viscoso ni histérico, pero tiene de ambos. Múltiples ensayos han mostrado que la energía disipada por ciclo es proporcional al desplazamiento elevado a la potencia 1,5.

2.2.2.2. Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)

Este tipo de aisladores son similares a los anteriores (compuestos por laminas: de caucho y acero de forma intercalada) pero contiene uno o varios núcleos de plomo. Las láminas de acero en el apoyo fuerzan al núcleo de plomo a deformarse por corte. Los núcleos de plomo dotan al dispositivo de aislamiento con un comportamiento bilineal. El núcleo de plomo debe ser encajado de forma ajustada dentro de los huecos previamente preparados en el aislador y forzado a entrar en él. La rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependen del desplazamiento.

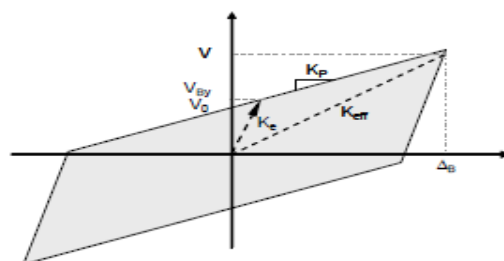


Figura No.4: Comportamiento Bilineal.

El núcleo de plomo proporciona amortiguamiento, deformándose plásticamente cuando el aislador se mueve lateralmente en un terremoto. La rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependen del desplazamiento. Posee la capacidad de soportar la combinación de cargas verticales, proveer de flexibilidad horizontal y restauración de fuerzas.

Entre las ventajas del LRB podemos encontrar que el amortiguamiento aumenta con respecto al LRD y varía entre el 15 y 35%. Además produce de forma natural un nivel de rigidez inicial importante para las cargas de servicio o de viento.



Figura No.5: Corte esquemático de aislador con núcleo de plomo.

2.2.2.3. Aisladores de péndulo friccionante (FPS)

El sistema de péndulo friccional (FPS) es un dispositivo que consigue el efecto de aislación a través de un mecanismo deslizante unido a un efecto pendular. El FPS consiste en un deslizador articulado (Slider) que se mueve sobre una superficie de acero inoxidable, que tiene la característica de ser esférica cóncava, ante un movimiento sísmico se producirá un desplazamiento del “slider” a lo largo de esta superficie disipando energía por fricción, y a la vez como el desplazamiento se produce sobre una superficie curva hace que la misma carga vertical transmitida por el “slider” genere una componente tangencial que es la responsable de centrar el sistema.

Los Apoyos de Péndulo de Fricción son aisladores sísmicos que se encuentran instalados entre una estructura y sus cimientos para proteger la estructura soportada de los movimientos sísmicos. Usando la tecnología de Péndulo de Fricción, es rentable construir estructuras que resistan elásticamente los movimientos sísmicos sin daño estructural. Los Apoyos de Péndulo de Fricción usan las características del péndulo para alargar el periodo natural de la estructura aislada para así evitar las fuerzas telúricas más fuertes.

Durante un sismo, la estructura soportada se mueve en pequeñas oscilaciones pendulares. Ya que los desplazamientos inducidos por terremotos se producen principalmente en los Apoyos, las cargas laterales transmitidas a la estructura se reducen significativamente.



Figura No.6: aislador de péndulo friccionante FPS.

2.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE CADA TIPO DE AISLADOR.

2.3.1. Características mecánicas de los aisladores elastoméricos.

Las características mecánicas de los soportes elastoméricos con refuerzo de acero en láminas han sido estudiadas por décadas, mientras los análisis exactos usando técnicas no lineales son bastantes difíciles, predicciones simples basadas en la teoría elástica han sido desarrolladas por muchos investigadores, y verificadas por laboratorios de prueba y más recientemente por el análisis de método de elementos finitos.

La característica mecánica más importante de estos aisladores es la rigidez horizontal representada por k_H y está dada por la siguiente ecuación:

$$K_H = \frac{GA}{t_r}$$

Donde G es el módulo de cortante de elastomérico, A es el área de la sección transversal completa y t_r es el espesor total del caucho.

El máximo desplazamiento horizontal D está relacionado a la máxima deformación por cortante y a través de:

$$\gamma = \frac{D}{t_r}$$

La rigidez vertical K_v y la rigidez de flexión, que se expresa como EI por analogía con la teoría de vigas, también se encuentra a través de la teoría elástica y es un parámetro que se necesita para el diseño del aislador.

La frecuencia vertical de una estructura aislada, frecuentemente es un importante criterio de diseño, está controlado por la rigidez vertical del aislador que comprime el sistema. Para poder predecir la frecuencia vertical, el diseñador necesita solamente calcular la rigidez vertical del aislador bajo una carga muerta especificada, un análisis lineal es lo suficientemente preciso para este tipo de cálculo. La respuesta inicial de un aislador bajo carga vertical es bastante no lineal y depende de varios factores. Normalmente, los aisladores tienen un sustancial abultamiento antes de que la rigidez vertical completa se desarrolle. Este abultamiento, el cual está fuertemente influenciado por la alineación de las placas de acero y otros aspectos de la mano de obra en el proceso de moldado no se puede predecir por análisis pero en general es de poca importancia para predecir la respuesta vertical del aislador. Otra propiedad importante del aislador que debe ser analizada para el diseño es el comportamiento de pandeo del aislador. Para poder realizar este análisis, la respuesta del aislador comprimido por el momento de flexión es necesaria. Llamado como “rigidez de flexión” puede determinarse a

través de una extensión del mismo análisis que se hace para determinar la rigidez vertical. La rigidez vertical de un aislador de caucho está dada por la fórmula:

$$K_V = \frac{E_c A}{t_r}$$

Donde A es el área de la sección transversal del aislador (debe tomarse el área de las placas metálicas), t_r es el espesor total de caucho en el aislador y E_c es el módulo de compresión instantánea del compuesto de caucho – acero bajo el nivel específico de carga vertical. El valor de E_c para una sola capa de caucho está controlado por el factor de forma S el cual puede definirse como:

$$S = \frac{\text{Area cargada}}{\text{Area libre de fuerzas}}$$

El factor de forma es una medida adimensional de la relación de aspecto de una sola capa del elastómero por ejemplo, en una franja infinita de ancho 2b y con grosor de una sola capa t.

$$S = \frac{b}{t}$$

Para un aislador circular de diámetro θ o radio R y espesor t.

$$S = \frac{\theta}{4t} \text{ o } S = \frac{R}{2t}$$

Para un aislador cuadrado o de dimensión “a” y espesor t.

$$S = \frac{a}{4t}$$

Para un aislador con forma circular el módulo de compresión es está dado por

$$E_c = 6GS^2$$

Para un aislador cuadrado el módulo de compresión está dado por

$$E_c = 6.73GS^2$$

En algunos casos los aisladores son diseñados con hoyos en los centros del aislador. El resultado del módulo de compresión para un aislador con un radio interior “a” y un radio exterior “b” está dado por:

$$E_c = 6\lambda GS^2$$

Dónde:

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2)/(\ln b/a)]}{(b - a)^2}$$

Si a/b tiende a cero, entonces λ tiende a 1; por lo tanto, lo cual es el resultado del aislador circular completo. Si a/b tiende a 1, escribiendo a/b = 1- ϵ y dejando que ϵ tienda a cero, nosotros encontramos que λ tienda a 2/3 y λ tiende a ∞ , lo cual es el resultado de la franja infinita.

En la mayoría de los casos para aisladores con huecos centrales, el valor de E_c deberá ser tomado como $4GS^2$ en lugar de $6GS^2$.

Para un aislador cuadrado el valor efectivo de EI es muy cercano a un tercio de valor de EI para una viga, por lo tanto:

$$EI_{(eff)} = E_c(0.329I)$$

Para un aislador circular con un hueco en el centro EI está dado por

$$EI_{(eff)} = 2GS^2I \frac{(b + a)^2}{b^2 - a^2}$$

Cuando el factor de forma del aislador se hace grande, el efecto de compresibilidad del caucho comienza ser importante. La Compresibilidad puede ser aproximadamente incorporada en las formulas anteriores a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E'_c} + \frac{1}{K}$$

El valor de K varia ampliamente en referencia al material, que van desde un mínimo de 1000 MPa a 2500 MPa, el valor más comúnmente usado, y que aparece demostrado en los resultados de laboratorios sobre aisladores es 2000Mpa.

Despejando la ecuación anterior E_c resulta ser:

$$E_c = \frac{E'_c K}{E'_c + k}$$

Y para el aislador circular, tenemos $E'_c = 6GS^2$, así E_c resulta:

$$E_c = \frac{6GS^2 k}{6GS^2 + K}$$

2.3.2. Características mecánicas de aisladores con núcleo de plomo (LRB)

Los aisladores con núcleo de plomo son siempre diseñados como elementos bilineales, con sus características basadas en tres parámetros: K_1 , k_2 y Q. La rigidez elástica k_1 es difícil de calcular pero generalmente puede expresarse como un múltiplo empírico de la rigidez de post-fluencia K_2 , por lo que puede ser precisamente calculada desde el módulo del cortante del caucho y del diseño de los aisladores. La Fuerza característica Q resulta de la intercepción entre curva de histéresis y la fuerza axial y es precisamente calculada a partir del esfuerzo de fluencia del plomo (10.3 MPa) y del área del núcleo de plomo.

En términos de los parámetros básicos, K_1 , k_2 y Q la rigidez efectiva del aislador con núcleo de plomo está dada por:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad D \geq D_Y$$

Donde δ es el desplazamiento de fluencia, la frecuencia natural ω está dada por:

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff}g}{W}}$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}$$

Donde D_Y es igual a Q/W , $\omega_0^2 = \sqrt{K_2 g / W}$, y el periodo efectivo está dado por:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}}$$

El amortiguamiento efectivo β_{eff} para $D \geq \delta$ es definido por:

$$\beta_{eff} = \frac{\text{Area de la histerisis}}{2\pi K_{eff} D^2}$$

El área de la curva de histéresis está dada por $4Q(D - D_Y)$, para poner en términos de estos parámetros básicos, notamos que:

$$D_Y = \frac{F_y}{K_1}$$

$$F_y = Q + K_2 D_Y$$

Por lo tanto:

$$D_Y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$$

Usando la definición de β_{eff} y la ecuación de la rigidez efectiva, tenemos.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_Y)}{2\pi(K_2D + Q)D}$$

Como regla general, la rigidez elástica es tomada como $10K_2$, por lo tanto $D_Y = Q/(9K_2)$, dándonos.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - Q/(9K_2))}{2\pi(K_2D + Q)D}$$

2.3.3. Características mecánicas del aislador de péndulo friccional (FPS)

Si la carga de un aislador FPS es W , el desplazamiento horizontal es D y el coeficiente de fricción es μ , entonces la fuerza de resistencia está dado por:

$$F = \frac{W}{R}D + \mu W(\text{sgn } D)$$

Donde R es el radio de curvatura del plato. El primer Término es la fuerza restauradora debida al aumento de masa, proporcionando una rigidez horizontal.

$$K_H = \frac{W}{R}$$

Lo que produce una estructura aislada de periodo T dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{R/g}$$

Que es independiente de la masa acarreada. El segundo término es la fuerza de fricción entre la curva y la superficie cóncava. El coeficiente de fricción μ depende de la presión p y la velocidad de deslizamiento. El coeficiente decrece con el incremento de la presión y se convierte independiente de las velocidades superiores a los 51mm/s, a presiones aproximadamente mayores a los 14 Mpa. Un bucle de histéresis para un sistema FPS de un programa experimental de mesa vibradora es mostrado en la figura. La naturaleza lineal de la fuerza

restauradora, la alta rigidez ante el deslizamiento, y la energía de disipación debido a la fricción de deslizamiento están claramente en la figura. La rigidez equivalente está dada por:

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D}$$

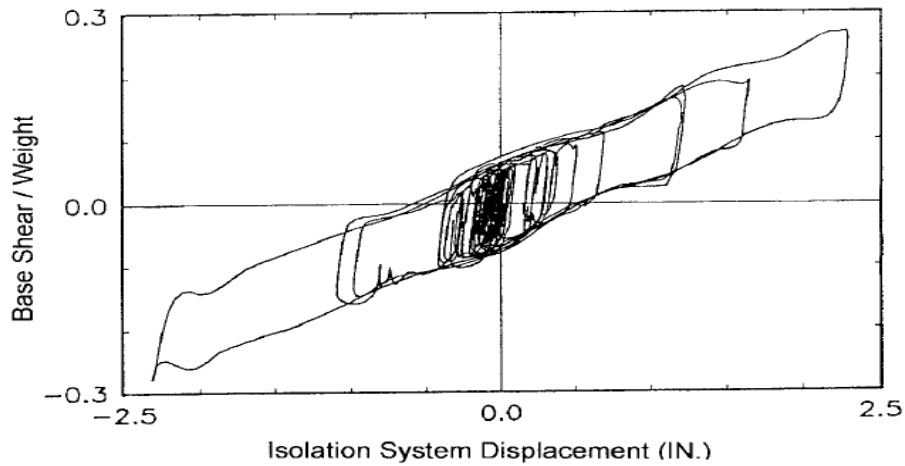


Figura No.7: Bucle de Histéresis de la prueba de mesa vibradora para FPS.

El amortiguamiento producido por la fricción en la superficie deslizante puede ser calculado por la fórmula:

$$\beta_{eff} = \frac{\text{Area de la histerisis}}{4\pi K_{eff} D^2}$$

El área del bucle de histéresis es $4\mu WD$; así

$$\beta = \frac{4\mu WD}{2\pi[(W/R)D + \mu W]d} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{D/R + \mu}$$

Para entender la geometría de los aisladores FPS, es necesario invertir la ecuación anterior con relación al periodo T y al Radio R, así tenemos:

$$\frac{gT^2}{(2\pi)^2} \approx 10T^2$$

El desplazamiento vertical está dado por:

$$\delta_v = \frac{1}{2} \frac{D^2}{R}$$

Otro aspecto de los FPS es que si el desplazamiento es menor al factor del radio, la fuerza restauradora puede ser menor que la fuerza de fricción y el sistema es menor que la fuerza de fricción, la fuerza restauradora será menor que la fuerza de fricción y el sistema no quedara centrado. Entonces el sistema no quedara centrado si $D/R \leq \mu$, esto puede ser un problema en los sistemas de periodos largos ⁽⁹⁾.

2.4. REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO ASCE 7-10

Durante el proceso de diseño para estructuras con aislamiento sísmico en la base, se deben determinar los procedimientos y limitantes, considerando: la ubicación, las características del suelo en el sitio, aceleración vertical, uso que se dará a la estructura, su configuración, sistema estructural y altura. Tanto el sistema resistente a fuerzas laterales como el sistema de aislación deben ser diseñados para resistir las deformaciones y esfuerzos producto de los movimientos sísmicos.

El Código ASCE 7-10 contempla tres tipos de análisis: análisis estático (fuerza lateral equivalente), análisis espectral y análisis tiempo-historia (análisis paso a paso). El procedimiento del análisis estático es generalmente utilizado para comenzar el diseño y calcular valores iniciales para parámetros de diseño claves (desplazamiento y cortante basal) que luego se evalúan usando el análisis espectral o de tiempo-historia. La utilización del método de la fuerza lateral equivalente es permitida si se cumplen con los siguientes ítems (ASCE 7-10 Sección 17.4.1):

- 1) La estructura está ubicada en un sitio con una aceleración $S_1 < 0.60g$. S_1 se determina usando los mapas de aceleraciones. (ASCE 7-10 11.4.1)
- 2) La estructura está localizada en un Sitio Clase A, B, C o D. (ASCE 7-10 11.4.2)

- 3) La altura de la estructura por encima de la interfaz de aislación no debe exceder 4 niveles y además la altura máxima debe ser menor de 65 ft (19.8 m).
- 4) El periodo efectivo de la estructura aislada para un desplazamiento máximo no debe ser mayor de 3.0 segundos.
- 5) El periodo efectivo para el desplazamiento de diseño debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura considerando su base como fija.
- 6) La estructura arriba del sistema de aislación tiene una configuración regular.
- 7) El sistema de aislamiento cumple con todos los siguientes criterios.
 - a. La rigidez efectiva del sistema de aislación para el desplazamiento de diseño debe ser mayor que un tercio de la rigidez efectiva para un 20% del desplazamiento de diseño.
 - b. El sistema de aislamiento es capaz de producir una fuerza restauradora.
 - c. El sistema de aislamiento no limita el desplazamiento para el máximo sismo considerado (MCE) a uno menor que el desplazamiento máximo total.

2.5. UBICACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS AISLADORES

Los aisladores de base consisten en una serie de paquetes colocados entre la cimentación y el edificio. Algunos dispositivos modifican la frecuencia natural del sistema, y otros reducen la transmisibilidad de fuerzas sísmicas de la cimentación a la estructura.

Los desplazamientos en el edificio sin aislador muestran un cambio de forma de un rectángulo a un paralelogramo, lo cual indica que el edificio se está deformando. El edificio aislado en la base mantiene su forma original, forma rectangular, siendo los aisladores los que se deforman. Experimentos y observaciones de edificios con aislamiento en la base en terremotos muestran una reducción en la aceleración del edificio a una cuarta parte de la aceleración de

edificios empotrados en la base. La aceleración disminuye porque el sistema de aislamiento en la base alarga el período de vibración del edificio, el tiempo que toma al edificio desplazarse de un lado a otro. En general, estructuras con períodos largos de vibración tienden a reducir la aceleración, y viceversa.

2.5.1. Ventajas y desventajas del uso de aisladores en la base con goma o caucho.

Ventajas de aisladores en la base:

1. Debido a la gran flexibilidad de la interface de aislación ubica el período fundamental de la estructura en una banda de períodos donde la energía del sismo es menor.
2. Limita la participación de modos superiores en la respuesta, debido a la ortogonalidad de estos con la acción, que se asemeja en forma al primer modo de vibrar, es decir generar un bajo factor de participación sísmica para los modos superiores.
3. Si el sistema de aislación posee amortiguamiento, como es el caso de aisladores con goma de alto amortiguamiento o aisladores con núcleo de plomo, es posible reducir aún más las aceleraciones.
4. Al no participar en mayor medida los modos superiores, la respuesta está controlada por el modo fundamental que posee una forma lineal en la estructura y una amplitud importante en la aislación. Esto significa que el sistema se puede modelar como de 1 grado de libertad lo que simplifica considerablemente su análisis y prediseño.
5. La libertad de ubicación y características en el diseño de los aisladores permite eliminar los problemas de excentricidades en planta, controlar la torsión y la retracción en caso de que la estructura sea de hormigón.
6. Al existir una capa de baja rigidez en la estructura, la aceleración y el periodo disminuyen, produciéndose una baja distorsión de entrepiso y una

baja aceleración de piso. Esto contribuye a limitar el daño estructural y no estructural del sistema.

7. La fuerza en el sistema o superestructura se reduce considerablemente permitiendo en algunos casos su diseño elástico y por tanto una mejor predicción con las herramientas de análisis actuales y la capacidad de generar sistemas con protección de función e inversión.
8. Debido a su dimensión y proceso de elaboración de los aisladores en fábricas con ambiente controlado, es posible garantizar sus propiedades mecánicas y establecer su estabilidad en el tiempo.
9. Reduce los costos de reparaciones en terremotos futuros.

Como desventajas de aisladores en la base tenemos:

1. La ubicación del primer modo de la estructura en la zona de demanda asociada a períodos largos genera desplazamientos considerablemente mayores.
2. Requiere de la generación de un piso adicional donde se ubicaran los aisladores.
3. Requiere de cambios importantes arquitectónicos y de servicios.
4. Aumenta los costos constructivos.

2.5.2. Requerimientos para el diseño de aisladores en la base.

En la actualidad existen una serie de publicaciones sobre el diseño de aisladores sísmico no obstante todavía se presentan variaciones importantes en el proceso, como es la incorporación de nuevos compuestos de goma y el posible reemplazo de los materiales de refuerzo. En términos generales el diseño de los aisladores de goma requiere de los siguientes:

1. Establecimiento del desplazamiento de diseño para nivel ambiental, servicio, diseño y máximo.

2. El dispositivo debe estar diseñado para que tenga una rigidez suficiente que bajo cargas de operación normal no se produzcan desplazamientos perceptibles en la estructura. Que para el desplazamiento de diseño, el sistema de aislación efectivamente reduzca la demanda sobre la estructura y que para el desplazamiento máximo las fuerzas generadas no dañen considerablemente a la estructura.
3. Las características de los materiales requeridas para el diseño son: Módulo de corte y disipación entre 2% y 250% de distorsión por corte y resistencia al desgarre de la goma.
4. Control de la rigidez horizontal para obtener los períodos objetivos, aspecto que considera la carga axial, el módulo de corte, el área y la altura de goma.
5. Control de la rigidez vertical para evitar la amplificación del movimiento en esta dirección. Para esto se considera el factor de forma, el cual se controla con el espesor de las capas de goma con refuerzo y las propiedades de la goma.
6. Estabilidad y control del mecanismo de falla. En general se controla el pandeo, el volcamiento y la delaminación en la interface de vulcanizado de la goma. En la mayoría de los proyectos la condición de falla del aislador es el volcamiento o el desgarre de la goma.

2.5.3. Validación de las propiedades de los aisladores por medio de ensayos estrictos debidamente regido por la norma de la IBC 2000.

Debido a la alta dependencia de la respuesta esperada del sistema, al comportamiento de los aisladores sísmicos, las propiedades de un sistema de aislación deben ser certificadas mediante ensayos. Estos son de tipo destructivo y no destructivo, físicos y químicos. Una excelente revisión de los ensayos y normativas a cumplir por los materiales y los aisladores se presenta en Naeim y Kelly (1999).

En términos generales el compuesto utilizado debe ser estable y no deteriorarse sustancialmente con el tiempo. La vida útil estimada debe ser mayor al de la obra. Adicionalmente deben tener la misma o mayor capacidad de resistencia al fuego que los elementos estructurales que soportan. Este aspecto puede ser resuelto con materiales adicionales como telas o sistemas físicos de aislación del fuego y temperatura.

Los ensayos físicos son realizados inicialmente para la mezcla del elastómero. Desde el punto de vista del diseño sísmico las variables a monitorear son el módulo de corte y la capacidad de disipación de la energía. En el ensaye del elastómero muestra la respuesta histérica bajo carga cíclica y arbitraria, (Mata y Boroschek, 2001). Estos parámetros deben ser evaluados para su variación con respecto a la deformación y a la frecuencia de excitación.

Una vez validados las propiedades a nivel del elastómero los ensayos físicos son requeridos para por lo menos dos prototipos de cada aislador, en estos ensayos se debe registrar la fuerza, el desplazamiento, el ciclo histerético, como mínimo. La carga axial en estos ensayos debe ser igual al promedio de la carga muerta más la mitad de la carga viva que se espera que reciba el tipo de aislador.

2.5.3.1. Ensayos a realizar, basados en las recomendaciones del International Building Code 2000.

- 20 ciclos a fuerza equivalente de viento.
- Tres ciclos completos a: $0.25D_d$, $1.0D_d$, $1.0D_m$, $1.0D_{tm}$. Donde D_d es el desplazamiento de diseño estático, D_m es el máximo desplazamiento debido al sismo máximo esperado, y D_{tm} es el desplazamiento, incluyendo torsión, para el sismo máximo esperado.
- Al menos 10 ciclos completos D_{td} . Donde D_{td} es el desplazamiento de diseño incluyendo efectos de torsión.

Adicionalmente si el aislador pertenece al sistema de carga vertical debe repetirse el segundo ensayo con una carga vertical de $1.2 D + 0.5L + |E|$ y $0.8D - |E|$. Los aisladores deben ser evaluados para una carga estática mayorada $1.2D + 1.0L + E_{max}$. Y E_{min} . En la figura 11 se presenta el marco de ensayos utilizado en la Universidad de Chile. Si el sistema depende de la velocidad de carga deberá realizarse los ensayos reconociendo esta dependencia.

2.5.3.2. Validación concluyente del aislador, según la IBC-2000.

1. No debe existir una disminución de la resistencia con la deformación (pendientes negativas).
2. La variación de la rigidez en cualquier ciclo de ensayo no debe ser mayor que el 15% del promedio para un aislador. Ni debe haber una diferencia sustancial entre aisladores del mismo tipo (15%).
3. La rigidez inicial no debe variar sustancialmente después de más de diez ciclos de ensayo.
4. No debe reducirse la capacidad de disipación de energía con el número de ciclos (20% en más de diez ciclos).
5. Los elementos deben ser estables ante las cargas verticales y desplazamientos de estudio.

2.5.4. Aislamiento de estructuras y su relación con el tipo de suelo y diferentes parámetros importantes en su análisis y diseño.

La aislación sísmica de edificaciones en Nicaragua resulta beneficiosa en la mayoría de los casos, debido a que las frecuencias predominantes de los sismos son altas, lo que implica que estructuras con periodos altos, como es el caso de las estructuras con aislación, no amplifican las aceleraciones. No obstante, la frecuencia de vibración de los suelos debe tenerse en cuenta, por lo que los suelos del tipo III y IV, por lo general con frecuencias bajas de amplificación, resultan indeseables.

Además de lo antes mencionado, se concluye que tanto la altura como la esbeltez de la edificación son parámetros limitantes para el aislamiento eficiente de una estructura. La esbeltez y la altura están directamente vinculadas con la capacidad de carga de los aisladores elastoméricos, que es el factor que controla la eficiencia del diseño en estos casos. Asimismo, el periodo natural de la superestructura es un indicador de la eficiencia posible en la aislación. Un periodo muy alto impide conseguir una diferenciación con el periodo del conjunto aislado, de forma que resulta difícil concentrar los desplazamientos en la interface de aislación. Una forma sencilla de determinar si la aislación de una estructura es recomendable, es verificar que la máxima esbeltez sea menor a 1.5, la altura del edificio menor a 35 metros u ochos pisos, exista la posibilidad de colocar una junta sísmica de aproximadamente 50 cm y un periodo natural menor a un décimo del número de pisos.

Como sugerencia, es preferible utilizar aisladores de mayor área transversal, debido a que estos son más eficientes: para obtener una capacidad de carga dada, con una misma altura de aislador, será más eficiente, es decir, se logrará una menor rigidez lateral y por ende una mayor reducción de la fuerza sísmica, al utilizar un aislador de mayor diámetro que varios de diámetro menor. De forma similar, es recomendable utilizar un menor número de aisladores y de características similares para reducir la incertidumbre del comportamiento.

Al aislar una estructura se puede esperar una reducción de las fuerzas sísmicas finales de diseño del orden de 2, sin embargo, la reducción real de las fuerzas sin considerar los factores R, entre una estructura convencional y una aislada (con la estructuración adecuada), es mayor a 10⁽¹⁰⁾.

CAPITULO – 3: REQUERIMIENTOS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AISLACION BASAL.

3.1. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AISLACION BASAL PARA LA ESTRUCTURA.

En esta tesis se estudiarán cuatro tipos de sistemas de aislamiento los cuales son los más utilizados actualmente en países como Japón, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Italia, Francia y Chile que gracias a su experiencia sísmica y a ensayos experimentales han comprobado el buen comportamiento de estos sistemas ante cualquier evento sísmico; dichos sistemas son:

- Sistema con Aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR).
- Sistema con Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LDR).
- Sistema mixto de Aisladores de alto amortiguamiento y Aisladores con núcleo de plomo (HDR+LRB)
- Aislador de péndulo friccional (FPS).

En cuanto al diseño de los sistemas mencionados anteriormente se desarrollará en el presente capítulo un solo tipo, el cual será el aislador FPS, debido a que como se muestra en el capítulo 6, el FPS presenta los menores valores de desplazamientos, derivas de piso, aceleraciones absolutas y cortantes basales en comparación a los tres primeros sistemas mencionados anteriormente, el procedimiento de diseño de los demás sistemas se muestran en el Anexo D.

3.1.1 Diseño de los sistemas de aislamiento

A continuación se presenta el procedimiento de diseño del aislador FPS basándonos en la Norma ASCE7-10, Nch 2745 y a parámetros establecidos en Libros tales como: “DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES” y “SEISMIC ISOLATION FOR DESIGNERS AND STRUCTURAL ENGINEERS”.

El proceso de diseño es iterativo y dependerá de los datos de entrada que se obtienen a partir de las propiedades presentadas por las casas fabricantes de aisladores, datos que se establecen según la experiencia de diseño y datos que se obtienen a partir del Análisis estructural del Edificio, debido a esto no se descarta la posibilidad de utilizar otro método siempre y cuando el aislador cumpla con los objetivos planteados y verificaciones necesarias para asegurar un buen comportamiento. Ver Anexo C

Dentro del procedimiento de diseño se obtendrán las propiedades mecánicas, dinámicas y geométricas para cada tipo de aislador.

3.2 DISEÑO DE LOS AISLADORES.

3.2.1. Diseño del aislador de péndulo friccional (FPS).

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Esfuerzo admisible de compresión del teflón	σ_{AC}	45000	KN/m ²
Peso Total del Edificio	W	106013.932	KN
Carga Máxima	P_{max}	6012.516	KN
Carga Mínima	P_{min}	195.652	KN
Amortiguamiento Efectivo	β_D	35	%
Coeficiente de fricción	μ	0.07	
Periodo de Diseño	T_D	2.5	Seg.
Periodo Máximo	T_M	3	Seg.
Número total de Aisladores	N	54	
Dimensión exterior del aislador	D_{EXT}	0.04	m
Altura propuesta de anclaje	$H_{anclaje}$	0.04	m
Esfuerzo admisible de compresión de la placa base	σ_b	15000	KN/m ²

Tabla No.1: Datos generales del aislador FPS.

- **Aceleración Espectral**

- **Aceleración Mapeada:** Los Parámetros de Aceleración mapeada se determinan en el capítulo 22 del ASCE 7-10 que son datos correspondientes a los Estados Unidos. Para la Ciudad de Managua la aceleración de respuesta espectral para periodos cortos (S_s) y periodo de 1 segundo (S_1) se determina de acuerdo a la Tabla 5.3 del Informe Final de Evaluación Regional de la amenaza sísmica de Centroamérica (UPM 2008) para un periodo de retorno de 2500 años.

MANAGUA	Periodo de Retorno (años)		
Aceleración (cm/s ²)	500	1000	2500
PGA	507	605	763
SA(0.1s)	1298	1584	2061
SA(0.2s)	1138	1392	1782
SA(0.5s)	586	710	903
SA(1.0s)	288	351	453
SA(2.0s)	122	152	200

Tabla No.2: Parámetros resultantes de amenaza para diferentes periodos de retorno en la ciudad de Managua.

Se establece la Aceleración Mapeada para un periodo corto de 0.2 seg. (S_s) y para un periodo de 1 seg (S_1)

$$S_s = 1782 \text{ cm/s}^2$$

$$S_1 = 453 \text{ cm/s}^2$$

Estos valores de aceleración Mapeada son convertidos a unidades de aceleración en función de la gravedad:

$$S_s = \frac{1782 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2} = 1.82 \text{ g}$$

$$S_1 = \frac{453 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2} = 0.46 \text{ g}$$

- Clasificación del sitio: El sitio se clasifica según la tabla 20.3.1 del ASCE 7-10. En el caso de Managua se hace una equivalencia de los valores de velocidad de onda mostrados en el Art.25 del RNC-07.

Site Class	\bar{V}_s	\bar{N} or \bar{N}_{ch}	\bar{s}_d
A. Hard rock	>5,000 ft/s	NA	NA
B. Rock	2,500 to 5,000 ft/s	NA	NA
C. Very dense soil and soft rock	1,200 to 2,500 ft/s	>50	>2,000 psf
D. Stiff soil	600 to 1,200 ft/s	15 to 50	1,000 to 2,000 psf
E. Soft clay soil	<600 ft/s	<15	<1,000 psf
	Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics: —Plasticity index $PI > 20$, —Moisture content $w \geq 40\%$, —Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	See Section 20.3.1		

For SI: 1 ft/s = 0.3048 m/s; 1 lb/ft² = 0.0479 kN/m².

Tabla No.3: Clasificación del sitio, tomada del ASCE7-10

Arto. 25 del RNC-07. Influencia del suelo y del período del edificio.

Para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debidos a las características del terreno, los suelos se dividirán en cuatro tipos, de acuerdo con las siguientes características:

Tipo I: Afloramiento rocoso con $V_s > 750$ m/s,

Tipo II: Suelo firme con $360 < V_s \leq 750$ m/s,

Tipo II: Suelo moderadamente blando, con $180 \leq V_s \leq 360$ m/s,

Tipo IV: Suelo muy blando, con $V_s < 180$ m/s.

Se escoge un suelo del Tipo II el cual es equivalente al suelo tipo C definido en la Norma ASCE 7-10, esta equivalencia se debe a que las velocidades de onda del suelo de tipo II (RNC -07) son aproximadamente iguales a las velocidades del suelo tipo C (ASCE7-10).

3. Coeficientes F_a y F_v

Los Coeficientes F_a y F_v son coeficientes de sitio para periodos cortos y para periodo de 1 segundo respectivamente los cuales están definidos en la Sección 11.4 del ASCE7-10 a como se muestra a continuación:

Factor de amplificación de suelo para periodos cortos F_a					
Parámetro de Aceleración de Respuesta espectral para periodo corto					
Tipo de suelo	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$	$S_s > 1.25$
Afloramiento Rocoso	1	1	1	1	1
Suelo Firme	1.2	1.2	1.1	1	1
Suelo moderadamente blando	1.6	1.4	1.2	1.1	1
Suelo muy blando	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Tabla No.4: Coeficiente de sitio para periodos cortos F_a , tomada del ASCE7-10

Factor de amplificación de suelo para periodo de 1 segundo F_v					
Parámetro de Aceleración de Respuesta espectral para periodo de 1 seg.					
Tipo de suelo	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 > 0.5$
Afloramiento Rocoso	1	1	1	1	1
Suelo Firme	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Suelo moderadamente blando	2.4	2	1.8	1.6	1.5
Suelo muy blando	3.52	3.2	2.8	2.4	2.4

Tabla No.5: Coeficiente de sitio para periodos cortos F_v , tomada del ASCE7-10

Según el tipo de suelo y de la Aceleración mapeada en función de la gravedad determinados anteriormente, se escoge de las tablas los coeficientes de sitio F_a y F_v correspondiente

-Coeficiente de Sitio F_a

Para un suelo Tipo C y una aceleración de 1.82 se tiene un valor de F_a igual a 1.

--Coeficiente de Sitio F_v

Para un suelo Tipo C y una aceleración de 0.46 se tiene un valor de F_v igual a 1.34, en este caso se usó la interpolación lineal ya que la 0.46 se trata de un valor intermedio.

$$Y_x = Y_0 + \left(\left(\frac{X - X_0}{X_1 - X_0} \right) * (Y_1 - Y_0) \right)$$

$$Y_x = F_v, Y_0 = 1.4, Y_1 = 1.3, X = 0.46, X_0 = 0.4, X_1 = 0.5$$

$$Y_x = 1.4 + \left(\left(\frac{0.46 - 0.40}{0.5 - 0.40} \right) * (1.3 - 1.4) \right) = 1.34$$

4. Aceleración para el sismo máximo considerado (MCER) para periodos cortos (S_{Ms}) y para periodos de 1 segundo (S_{M1}) ASCE -10, Seccion11.4.3.

$$S_{Ms} = F_a * S_s = 1 * 1.82 = 1.82$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 = 1.34 * 0.46 = 0.62$$

5. Aceleración para el sismo de Diseño para periodos cortos (S_{Ds}) y para periodos de 1 segundo (S_{D1}) ASCE 7-10 Seccion11.4.4.

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} * S_{Ms} = \frac{2}{3} * 1.82 = 1.21$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} = \frac{2}{3} * 0.62 = 0.41$$

Los valores de aceleraciones obtenidos en el cálculo anterior serán utilizados en el diseño de los cuatros tipos de sistema de aislación.

➤ **Propiedades Mecánicas del Aislador**

➤ **Coeficiente de Amortiguamiento**

El coeficiente de amortiguación se obtiene a partir de la tabla 17.5.1 del ASCE7-10 con un amortiguamiento efectivo del aislador FPS el cual varía del 10 al 40%.

Amortiguamiento Efectivo	β_d
≤ 2	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2

Tabla No.6: Coeficiente de amortiguación, tomada del ASCE7-10.

Para un Amortiguamiento Efectivo del 35% el coeficiente β_D es igual a 1.8 cuyo valor es obtenido de la tabla usando interpolación lineal.

$$Y_x = Y_0 + \left(\left(\frac{X - X_0}{X_1 - X_0} \right) * (Y_1 - Y_0) \right)$$

$$Y_x = \beta_D, Y_0 = 1.7, Y_1 = 1.9, X = 35, X_0 = 30, X_1 = 40$$

$$Y_x = 1.7 + \left(\left(\frac{35 - 30}{40 - 30} \right) * (1.9 - 1.7) \right) = 1.8$$

➤ Desplazamiento de Diseño

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 \beta_d}$$

Dónde:

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

S_{D1} : Aceleración espectral para un periodo de 1 seg

T_D : Periodo de Diseño del sistema de aislacion

β_D : Coeficiente de Amortiguamiento efectivo

$$D_D = \frac{9.81m/seg^2 * 0.41 * 2.5 Seg.}{4\pi^2 * 1.8} = 0.142 m$$

➤ Desplazamiento Máximo

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 \beta_M}$$

Dónde:

S_{M1} : Aceleración espectral para un periodo de 1 seg

T_M : Periodo de Diseño del sistema de aislación

β_M : Coeficiente de Amortiguamiento efectivo

$$D_M = \frac{9.81m/seg^2 * 0.62 * 3 Seg.}{4\pi^2 * 1.8} = 0.257 m$$

➤ Rigidez Total del Sistema

$$K_{HTotal} = \frac{W}{g} * \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

Dónde:

W : Peso propio del edificio: CM+CVR.

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg^2)

T_D : Periodo de Diseño del sistema de aislación

$$K_{HTotal} = \frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2} * \left(\frac{2\pi}{2.5 \text{ Seg.}} \right)^2 = 68261.158 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez Horizontal para cada Aislador

$$K_H = \frac{K_{HTotal}}{N}$$

Dónde:

K_{HTotal} : Rigidez Total del Sistema

N : Numero de Aisladores del Sistema

$$K_H = \frac{68261.158 \text{ KN/m}}{54} = 1264.096 \text{ KN/m}$$

- Radio de giro necesario

$$R = \frac{T_D^2 * g}{4\pi^2}$$

$$R = \frac{(2.5 \text{ seg})^2 * 9.81 \text{ m/seg}^2}{4\pi^2} = 1.553 \text{ m}$$

- Rigidez Efectiva del Sistema

$$K_{eff} = \frac{\mu * W}{D_D} + \frac{W}{R}$$

Donde:

μ : Coeficiente de Fricción

$$K_{eff} = \frac{0.07 * 106013.932 \text{ KN}}{0.142 \text{ m}} + \frac{106013.932 \text{ KN}}{1.553 \text{ m}} = 120524.350 \text{ KN/m}$$

- Rigidez Efectiva de cada aislador

$$K_{eff \text{ de cada aislador}} = \frac{K_{eff}}{N}$$

Donde:

K_{eff} : Rigidez Efectiva del Sistema

N : Número de aisladores

$$K_{eff \text{ de cada aislador}} = \frac{120524.350 \text{ KN/m}}{54} = 2231.932 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez Vertical

$$K_V = 7000 * K_{eff \text{ de cada aislador}}$$

$$K_V = 7000 * 2231.932 \text{ KN/m} = 15623524 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez post-fluencia del sistema

$$K_{p.sistema} = K_{eff} - \frac{\mu * W}{D_D}$$

$$K_{p.sistema} = 120524.350 \text{ KN/m} - \frac{0.07 * 106013.932 \text{ KN}}{0.142 \text{ m}} = 68263.961 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez post-fluencia de cada aislador

$$K_p = \frac{68263.961 \text{ KN/m}}{54} = 1264.147 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez de pre-fluencia de cada aislador

$$K_1 = \frac{\mu * W}{D_Y * N}$$

D_Y : Desplazamiento de fluencia el cual se le considera comúnmente un décimo de pulgada (0.00254m)

$$K_1 = \frac{0.07 * 106013.932 \text{ KN}}{0.00254 \text{ m} * 54} = 54104.515 \text{ KN/m}$$

- Fuerza activa del sistema

$$F_{Y.sistema} = \mu * W$$

$$F_{Y.sistema} = 0.07 * 106013.932 \text{ KN} = 7420.975 \text{ KN}$$

- Fuerza activa del sistema para cada aislador

$$F_Y = \frac{F_{Y.sistema}}{N}$$

$$F_Y = \frac{7420.975 \text{ KN}}{54} = 137.425 \text{ KN}$$

- Energía Disipada por ciclo

$$W_{D.sistema} = 4 * \mu * W * D_D$$

$$W_{D.sistema} = 4 * 0.07 * 106013.932 \text{ KN} * 0.142 \text{ m} = 4215.114 \text{ KN.m}$$

- Energía Disipada por ciclo para un aislador

$$W_D = \frac{4215.114 \text{ KN.m}}{54} = 78.058 \text{ KN.m}$$

➤ Frecuencia Angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T_D}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{2.5 \text{ seg}} = 2.513/\text{seg}$$

➤ Amortiguamiento Efectivo del Aislador

$$C = \frac{W_D}{\pi * D_D * \omega}$$

$$C = \frac{78.058 \text{ KN.m}}{\pi * (0.142 \text{ m})^2 * \frac{2.513}{\text{seg}}} = 490.341 \text{ KN.m/seg}$$

• **Desplazamiento Total de Diseño y Desplazamiento Total Máximo**

Nuestro edificio cuenta con las siguientes características:

Dimensión en planta de la estructura en la dirección X=51.5m

Dimensión en planta de la estructura en la dirección Y=34.3m

La dirección del sismo considerado será en el eje X por lo tanto:

d=51.5m

b=31.120m

y=17.19

Excentricidad real: 0.04 m

Excentricidad accidental=0.05*34.3=1.715m

e: Excentricidad real más Excentricidad accidental

Desplazamiento de diseño $D_D = 0.142 \text{ m}$

Desplazamiento Máximo $D_M = 0.257 \text{ m}$

Con los datos anteriores se procede a calcular el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TD} = 0.142 \text{ m} \left[1 + 17.15 \text{ m} * \frac{12 * (0.04 \text{ m} + 1.715 \text{ m})}{(34.3 \text{ m})^2 + (51.5 \text{ m})^2} \right] = 0.16 \text{ m}$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TM} = 0.257 \text{ m} \left[1 + 17.15 \text{ m} * \frac{12 * (0.04 \text{ m} + 1.715 \text{ m})}{(34.3 \text{ m})^2 + (51.5 \text{ m})^2} \right] = 0.28 \text{ m}$$

El desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo se pueden tomar menores a los desplazamientos calculados anteriormente, pero no menores que 1.1 veces D_D ni 1.1 veces D_M , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión.

$$1.1D_D = 1.1 * 0.142 \text{ m} = 0.16 \text{ m}$$

$$1.1D_D = D_{TD} \text{ ok.}$$

$$1.1D_M = 1.1 * 0.257 \text{ m} = 0.28 \text{ m.}$$

$$1.1D_M = D_{TM} \text{ ok.}$$

- **Dimensionamiento del Aislador**

- Área de contacto del deslizador

$$A_S = \frac{P_{MAX.}}{\sigma_{AC}}$$

Donde:

$P_{MAX.}$: Carga máxima de la estructura

σ_{AC} : Esfuerzo de compresión del aislador

$$A_S = \frac{6012.516 \text{ KN}}{45000 \text{ KN/m}^2} = 0.134 \text{ m}^2$$

- Diámetro del deslizador articulado

$$D_S = \sqrt{\frac{4A_S}{\pi}}$$

Donde:

A_S : Área de contacto del deslizador

$$D_S = \sqrt{\frac{4 * 0.134 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.413 \text{ m}$$

- Dimensión Horizontal del Aislador

$$D_2 = D_{TM} + D_S$$

Donde:

D_{TM} : Desplazamiento total máximo

A_S : Área de contacto del deslizador

$$D_2 = 0.28 \text{ m} + 0.413 \text{ m} = 0.693 \text{ m}$$

- Fuerza transmitida a la placa inferior del aislador

$$F_p = \sigma_{AC} * A_S$$

$$F_p = 45000 \text{ KN/m}^2 * 0.134 \text{ m}^2 = 6030 \text{ KN}$$

- Altura parcial del deslizador

$$h = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{4F_p}{\sigma_b * \pi}} - D_s \right]$$

Donde:

F_p : Fuerza transmitida a la placa inferior del aislador

σ_b : Esfuerzo admisible de compresión de la placa base

D_s : Diámetro del deslizador articulado

$$h = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{4 * 6030 \text{ KN}}{15000 \text{ KN/m}^2 * \pi}} - 0.413 \text{ m} \right] = 0.151 \text{ m}$$

- Altura de la placa

$$H_1 = h + \left(R - \sqrt{R^2 - (0.5D_2)^2} \right)$$

Donde:

h: Altura parcial del deslizador

R: Radio de giro necesario

D_2 : Dimensión Horizontal del aislador

$$H_1 = 0.151 \text{ m} + \left(1.553 \text{ m} - \sqrt{(1.553 \text{ m})^2 - (0.5 * 0.693 \text{ m})^2} \right) = 0.190 \text{ m}$$

- Altura de la placa que contiene el deslizador

$$H_2 = 0.7 * H_1$$

$$H_2 = 0.7 * 0.190 \text{ m} = 0.133 \text{ m}$$

- Espacio libre que queda entre las dos placas

$$H_3 = R - \sqrt{R^2 - (0.5 D_2)^2}$$

$$H_3 = 1.553 \text{ m} - \sqrt{(1.553 \text{ m})^2 - (0.5 * 0.693 \text{ m})^2} = 0.039 \text{ m}$$

- Altura Total del Aislador

Para calcular la altura total del aislador se asume una altura de anclaje el cual por lo general es de 4cm.

$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + H_{\text{anclaje}}$$

$$H_T = 0.190 \text{ m} + 0.133 \text{ m} + 0.039 \text{ m} + 0.04 \text{ m} = 0.402 \text{ m}$$

- Dimensión Horizontal Total del Aislador

Para calcular la Dimensión Horizontal Total del Aislador se asume una dimensión exterior (D_{EXT}) a cada lado, utilizada para colocar el sello de protección del aislador, cuyo valor es por lo general igual a 4cm.

$$D_T = D_2 + D_{EXT}$$

$$D_T = 0.693 + 0.08 = 0.773 \text{ m}$$

- **Fuerzas laterales minimas para un sistema de aislamiento**

- **Fuerza lateral por debajo del sistema de aislamiento**

$$V_b = K_{Dmax} * D_D$$

$$K_{Dmax} = K_{eff}$$

$$V_b = 120524.35 \text{ KN/m} * 0.142 \text{ m} = 17114.458 \text{ KN}$$

Dónde:

K_{Dmax} : Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación

D_D : Desplazamiento de diseño

- **Fuerza lateral por encima del sistema de aislamiento**

La estructura por encima del sistema de aislamiento será diseñada y construida para soportar una fuerza lateral mínima, V_s , utilizando todos los requisitos apropiados para una estructura no aislada y según lo prescrito por la ecuación 17,5-8 del ASCE 7-10:

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R}$$

$$V_s = \frac{120524.35 \text{ KN/m} * 0.142 \text{ m}}{2} = 8557.229 \text{ KN}$$

El factor de R se basará en el tipo de sistema de fuerza-resistencia sísmica utilizado para la estructura encima del sistema de aislamiento y será de tres octavos del valor de R dada en la Tabla 12.2-1 del ASCE 7-10, con un valor máximo no mayor que 2,0 y un mínimo valor no inferior a 1.0.

Límite de Vs:

El valor de Vs no se tomará menor a lo siguiente:

1. La fuerza sísmica lateral requerida por la Sección 12.8 del ASCE7-10 para una estructura de base fija con el mismo peso sísmico efectivo, W, y un período igual al período aislado, TD.
2. El cortante basal correspondiente a la carga de viento de diseño.
3. La fuerza sísmica lateral necesaria para activar plenamente el sistema de aislamiento V_i .

Para nuestro caso no se toma en cuenta el inciso 2 debido a que no se realizó un análisis para cargas de viento.

Para el primer inciso además de considerar el procedimiento contemplado en la sección 12.8 del ASCE7-10 se tomara en cuenta el cálculo de la fuerza sísmica lateral según lo establecido en el RNC-07.

➤ **Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento ASCE-10 Sección 17.5.4.3.**

Para calcular la Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento se necesita de la Fuerza de fluencia del sistema

$$F_{Ysist.} = F_Y * N$$

Dónde:

F_Y : Fuerza de fluencia de cada aislador

N : Numero de aisladores

$$F_{Ysist.} = 137.425 * 54 = 7420.95 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento**

$$V_i = 1.5 * F_{Ysist.}$$

$$V_i = 1.5 * 7420.95 \text{ KN} = 11131.425 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la Sección 12.8 del ASCE 7-10**

El cortante en la base sísmica, V , en una dirección dada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = C_s * W$$

Dónde:

C_s = Coeficiente sísmico determinado de acuerdo a la ecuación 12-8-2 del ASCE 7-10.

W =Peso de la estructura.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

Dónde:

S_{DS} : Aceleración para el sismo de Diseño para periodos cortos (S_{DS})

R : Factor que depende del tipo de sistema fuerza-resistencia sísmica utilizado para la estructura encima del sistema de aislamiento y será de tres octavos del

valor de R dada en la Tabla 12.2-1 del ASCE 7-10, con un valor máximo no mayor que 2.0 y un mínimo valor no inferior a 1.0.

I_e : Factor de importancia de acuerdo a la sección 11.5.1 del ASCE7-10.

Según la tabla 1.5.2 del ASCE7-10 el factor de importancia sísmica para el tipo de categoría de riesgo II es igual a 1 por lo tanto:

$$C_s = \frac{1.21}{\frac{2}{1}} = 0.605$$

El valor de C_s calculado de acuerdo a la ecuación anterior no debe exceder a las ecuaciones siguientes:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad T \leq T_L$$

$$C_s = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad T \geq T_L$$

Según el ASCE 7-10 T_L se considera como un periodo largo de transición, es por eso que se asume que $T \leq T_L$, siendo el coeficiente sísmico igual a

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dónde:

S_{D1} : Aceleración para el sismo de Diseño para periodos de 1 segundo (S_{D1}) ASCE 7-10 Sección 11.4.4.

T : Periodo objetivo de la estructura

$$C_s = \frac{0.41}{2.50(2)} = 0.082$$

$$V = C_s * W$$

El coeficiente sísmico calculado con la ecuación 12-8-2 del ACE7-10 excede al calculado anteriormente, por lo tanto el coeficiente sísmico será igual a 0.082.

$$V = 0.082 * 106013.932 \text{ KN} = 8693.142 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la norma RNC- 07**

Se verifica que V_s no sea menor al calculado a través del RNC - 07.

Valores y Requerimientos Predefinidos

$T_a=0.1$ segundos $T_b=0.6$ segundos $T_c=2$ segundos Art.27 II. a)

Clasificación de la estructura: Grupo B Art.20

Condiciones de regularidad Art. 23

La estructura se considera irregular ya que no satisface algunos de los requisitos del Art 23.

Factor de reducción por ductilidad (Q) Art.21

$Q=2$

Factor de reducción por sobrerresistencia (Ω) Art.22

$\Omega=2$

Zona y Tipo de Suelo Art. 25

Zona: A Tipo de suelo: II

Coeficiente de aceleración (a_0). Anexo C. Mapa de Isoaceleraciones

$a_0=0.31$

Corrección del factor de reducción por ductilidad Art.23 inciso d).

Se corrige el factor Q debido a que la estructura no cumple con dos requisitos del inciso a del Art. 23, para este caso el factor Q es multiplicado por 0.8. **Ver Sección 6.1.2**

$$Q=2 \times 0.8=1.6$$

Factor por tipo de suelo (S) Art.25

$$S=1.5$$

Ordenada del espectro de aceleraciones (a): ecuación 6 del RNC

$$a = \begin{cases} S \left[a_0 + (d - a_0) \frac{T}{T_a} \right] & \text{si } T < T_a \\ Sd & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ Sd \left(\frac{T_b}{T} \right) & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ Sd \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 & \text{si } T > T_c \end{cases}$$

Como el periodo deseado de la estructura es igual a 2.5 seg, entonces:

$$a = Sd \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2$$

$$a = 1.5 * 0.31 * 2.7 * \left(\frac{0.6}{2} \right) \left(\frac{2}{2.5} \right)^2 = 0.241$$

El coeficiente sísmico será igual a:

$$c = \frac{a}{\Omega * Q}$$

$$c = \frac{0.241}{2 * 1.6} = 0.075$$

Para el cálculo de la fuerza sísmica se utiliza la ecuación 13 del RNC.

$$F_{Si} = \frac{a}{\Omega * Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

$$F_{Si} = 0.075 * 106013.932 \text{ KN} = 7951.045 \text{ KN}$$

La Fuerza sísmica que debe utilizarse para el diseño será la Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento calculada según el ASCE 7-10 Sección 17.5.4.3 inciso 3, ya que esta resulto ser de mayor valor.

3.2.1.1. Características finales del aislador de Péndulo Friccional (FPS).

Propiedades Geométricas	
Propiedades	Resultado
Dimensión Horizontal Total del Aislador	0.773 m
Altura Total del Aislador	0.402 m
Diámetro del deslizador articulado	0.413 m
Altura parcial del deslizador	0.151 m

Tabla No.7: Propiedades geométricas del diseño final del aislador FPS.

Propiedades Mecánicas	
Propiedades	Resultado
Rigidez Horizontal	2231.932 KN/m
Rigidez Vertical	15623524 KN/m
Rigidez Post-fluencia	1264.147 KN/m
Rigidez Pre-fluencia	54104.515 KN/m
Fuerza de Fluencia	137.425 KN

Tabla No.8: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador FPS.

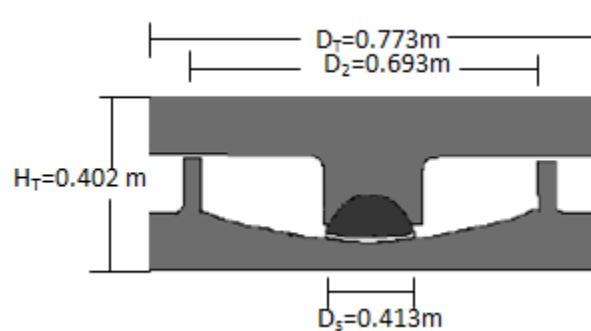


Figura No.8: Esquema final del diseño del aislador FPS.

Nota: A continuación se presenta el resultado de las propiedades físicas y mecánicas de los demás aisladores (HDR, LRB, HDR + LRB), para ver el procedimiento de diseño de estos, ver anexo D.

3.2.1.2. Características finales del aislador de alto amortiguamiento (HDR).

Propiedades Geométricas	
Propiedades	Resultado
Diámetro Exterior	0.70 m
Diámetro Interior	0.10 m
Altura Total	0.23 m
Espesor de capa de caucho	0.008
Numero de capa de caucho	17
Espesor de láminas de acero	0.003
Numero de capa de acero	16

Tabla No 9: Propiedades geométricas del diseño final del aislador HDR.

Propiedades Mecánicas	
Propiedades	Resultado
Rigidez Horizontal	1108.824 KN/m
Rigidez Vertical	1496911.765 KN/m
Rigidez Post-fluencia	826.66 KN/m
Rigidez Pre-fluencia	4635.874 KN/m
Fuerza de Fluencia	64.902 KN

Tabla No.10: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador HDR.

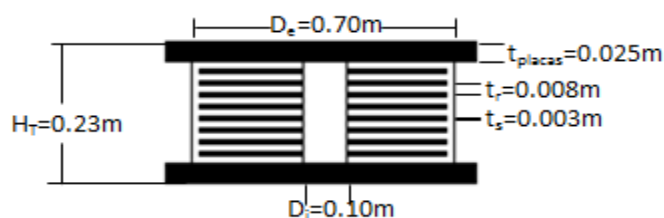


Figura No 9: Esquema final del diseño del aislador HDR

3.2.1.3. Características finales del aislador con núcleo de plomo (LRB).

Propiedades Geométricas	
Propiedades	Resultado
Diámetro Exterior	0.70 m
Diámetro Interior(Núcleo de plomo)	0.1 m
Altura Total	0.19 m
Espesor de capa de caucho	0.01
Numero de capa de caucho	11
Espesor de láminas de acero	0.003
Numero de capa de acero	10

Tabla No 11: Propiedades geométricas del diseño final del aislador LRB

Propiedades Mecánicas	
Propiedades	Resultado
Rigidez Horizontal	1841.497 KN/m
Rigidez Vertical	2444196.117 KN/m
Rigidez Post-fluencia	1370.909 KN/m
Rigidez Pre-fluencia	14704.242 KN/m
Fuerza de Fluencia	88.225 KN

Tabla No.12: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador LRB.

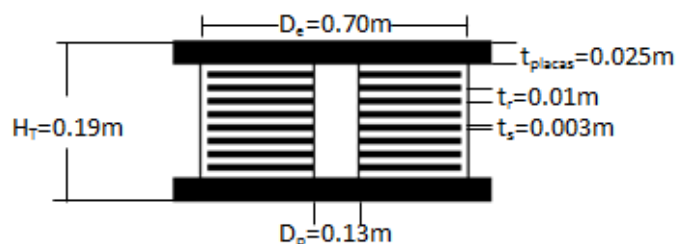


Figura No 10: Esquema final del diseño del aislador LRB

3.2.1.4. Características finales de la combinación de aisladores (HDR + LRB)

Propiedades Geométricas del Aislador HDR	
Propiedades	Resultado
Diámetro Exterior	0.70 m
Diámetro Interior	0.10 m
Altura Total	0.19 m
Espesor de capa de caucho	0.01 m
Numero de capa de caucho	11
Espesor de láminas de acero	0.003 m
Numero de capa de acero	10

Tabla No 13: Propiedades geométricas del diseño final del aislador HDR.

Propiedades Mecánicas del Aislador HDR	
Propiedades	Resultado
Rigidez Horizontal	1352.727 KN/m
Rigidez Vertical	1342780.75 KN/m
Rigidez Post-fluencia	875.245 KN/m
Rigidez Pre-fluencia	8167.7 KN/m
Fuerza de Fluencia	89.845 KN

Tabla No.14: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador HDR.

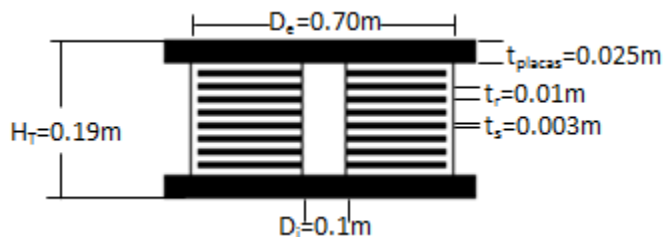


Figura No. 11: Esquema final del diseño del aislador HDR.

Propiedades Geométricas del Aislador LRB	
Propiedades	Resultado
Diámetro Exterior	0.70 m
Diámetro Interior(Núcleo de plomo)	0.13 m
Altura Total	0.19 m
Espesor de capa de caucho	0.01
Numero de capa de caucho	11
Espesor de láminas de acero	0.003
Numero de capa de acero	10

Tabla No.15: Propiedades geométricas del diseño final del aislador LRB.

Propiedades Mecánicas del Aislador LRB	
Propiedades	Resultado
Rigidez Horizontal	2126.537 KN/m
Rigidez Vertical	2890528.215 KN/m
Rigidez Post-fluencia	1352.727 KN/m
Rigidez Pre-fluencia	13527.27 KN/m
Fuerza de Fluencia	148.8 KN

Tabla No 16: Propiedades mecánicas del diseño final del aislador LRB.

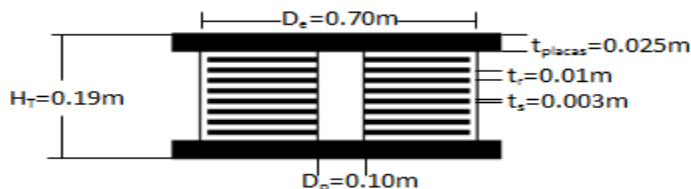


Figura No12: Esquema final del diseño del aislador LRB.

CAPITULO – 4: CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO EN ESTUDIO.

4.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO A ANALIZAR.

El edificio en estudio se encuentra en la ciudad de Managua, Nicaragua. El edificio consiste de seis plantas incluyendo semisótano y una losa de techo, con un área total de 9540 m² y con un peso total de 106013.516 KN tomando en cuenta los muros de sótano y la cimentación. El subterráneo está destinado a funcionar como estacionamiento, los otros 5 pisos destinados exclusivamente para oficinas en donde para el primer piso le corresponde una altura de 4.6 m y el resto de 4.1m, siendo 21 m la altura máxima del edificio sin considerar el nivel del semisótano.

El edificio estructuralmente está conformado por una serie de marcos de concreto a base de vigas y columnas, con una separación promedio de 9000*9600 mm. La estructura es complementada por muros de concreto en forma de L en las cuatro esquinas, además de dos muros de concreto en forma de C en la parte interior del edificio, en donde se ubica los elevadores y una escalera principal. Con siete ejes principales en la dirección este- oeste y cinco ejes en la dirección norte-sur. Las columnas del nivel 1,2 y 3 son de 80×80 cm, las del nivel 4 y 5 son de 70×70 cm y las del nivel 6 son de 60×60 cm, las vigas de los marcos son de 35×85 cm, cabe aclarar que a fin de acotar la luz de las losas, se colocara una viga en los centros de cada tramo cuya sección es de 25×75 cm dividiendo así la luz más grande en dos luces del orden de los 4800mm.

El edificio está planteado a base de losas prefabricadas de 50 mm de espesor, sobre las cuales se colara una sobrelosa de 70 mm que conjuntamente actuaran como una losa en dos direcciones.

Para la construcción del edificio se utilizaran los siguientes materiales:

- Concreto ($f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$)
- Acero de refuerzo varilla #5 y mayores a la #5 ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$)
- Varilla #3 y #4 ($f_y=2800 \text{ kg/cm}^2$)
- Suelo ($P_{adm}=20 \text{ ton/m}^2$) y tipo de suelo: III

4.1.1. Resultados del análisis convencional del edificio en estudio.

Resultados del Análisis Modal Espectral

Modo	Periodo Seg	Frecuencia (ciclos/seg)	Participación Modal %		
			U_x	U_y	R_z
1	0.379665	2.6339	0.00107	0.62367	0.00007166
2	0.360475	2.7741	0.60866	0.00107	0.00002884
3	0.268835	3.7198	0.00002386	0.000004867	0.57924
4	0.148241	6.7458	0.00012	0.00003204	0.000004854
5	0.145413	6.877	0.00015	0.00028	5.983E-07
6	0.14209	7.0378	0.000024	0.00097	0.00009801
7	0.134424	7.4391	0.00005627	0.00085	0.00004065
8	0.130686	7.6519	0.0003	0.00007945	0.00005927
9	0.128825	7.7625	0.00224	0.000001649	0.00001122
10	0.089125	11.22	0.00002886	0.19552	0.00007323
11	0.081228	12.311	0.17755	0.00004842	0.000002758
12	0.073654	13.577	0.01887	0.00002142	0.00075
13	0.063051	15.86	0.00397	0.00002047	0.01719
14	0.056194	17.796	0.00021	0.00003023	0.19333
15	0.044964	22.24	0.000001425	0.08201	0.00034
16	0.033023	30.282	0.14425	0.000007463	0.00026
17	0.029001	34.481	0.000007447	0.06297	0.00012
18	0.024484	40.843	0.00018	0.0007	0.14952
Σ			0.95773	0.96827	0.94112

Tabla No.17: Resultados del análisis modal espectral

• Periodos y Participación Modal

Lo que se recomienda, es que la acumulación de masa efectiva en cada una de las direcciones, X, Y, y Z, sea como mínimo de 90% para que el modelo que se está usando refleje de manera más o menos fidedigna la masa del edificio real.

En nuestro modelo se utilizaron un total de 18 modos de vibración, logrando obtener una participación modal superior a los 90% para los desplazamientos en X, en Y y en Z. El primer modo de vibración de la estructura corresponde a

0.379665 segundos, el cual tiene una mayor participación en Y indicando que el primer modo de vibrar ocurre en el eje Y. El segundo período más importante es de 0.360475 segundos y tiene mayor participación en X; finalmente el tercer período es de 0.268835 segundos y tiene una mayor participación modal en RZ, lo que indica que es un modo torsional.

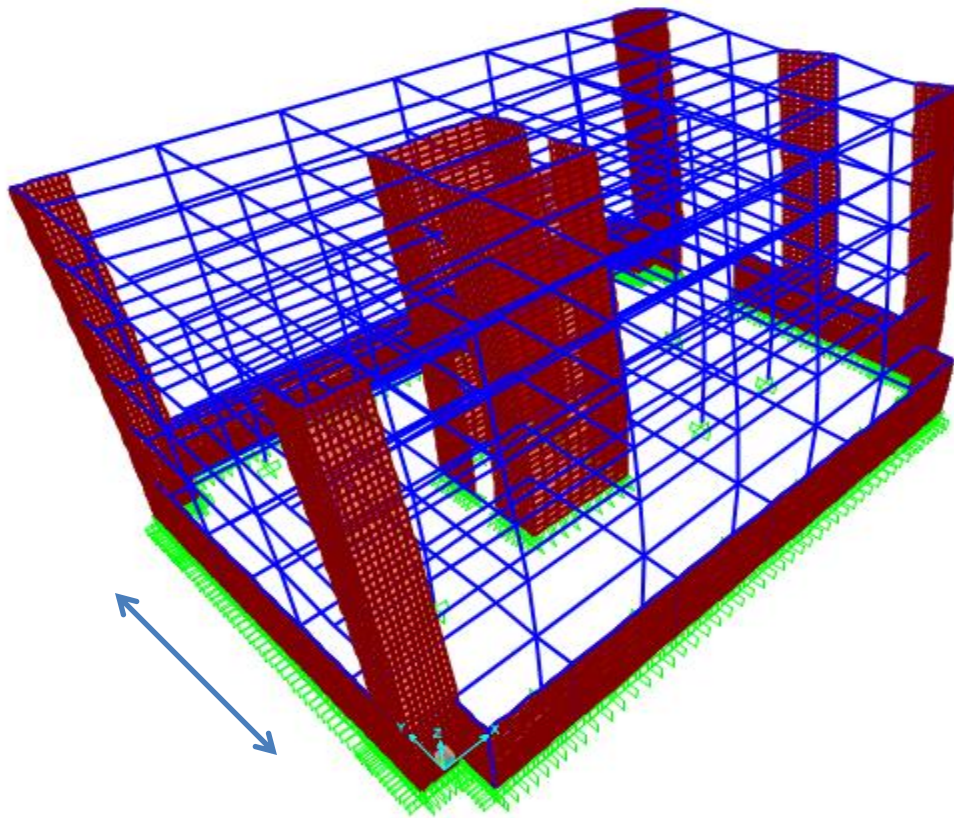


Figura No.13: Primer Modo Traslacional del Edificio Convencional en Y.

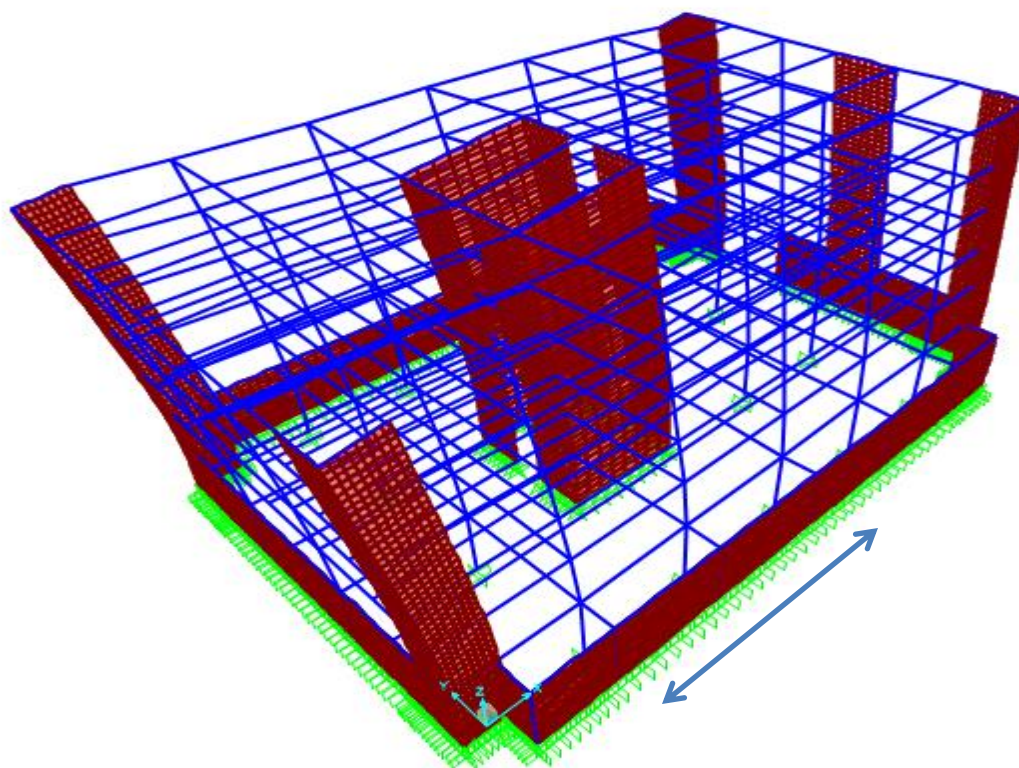


Figura No.14: Segundo Modo Traslacional del Edificio Convencional en X.

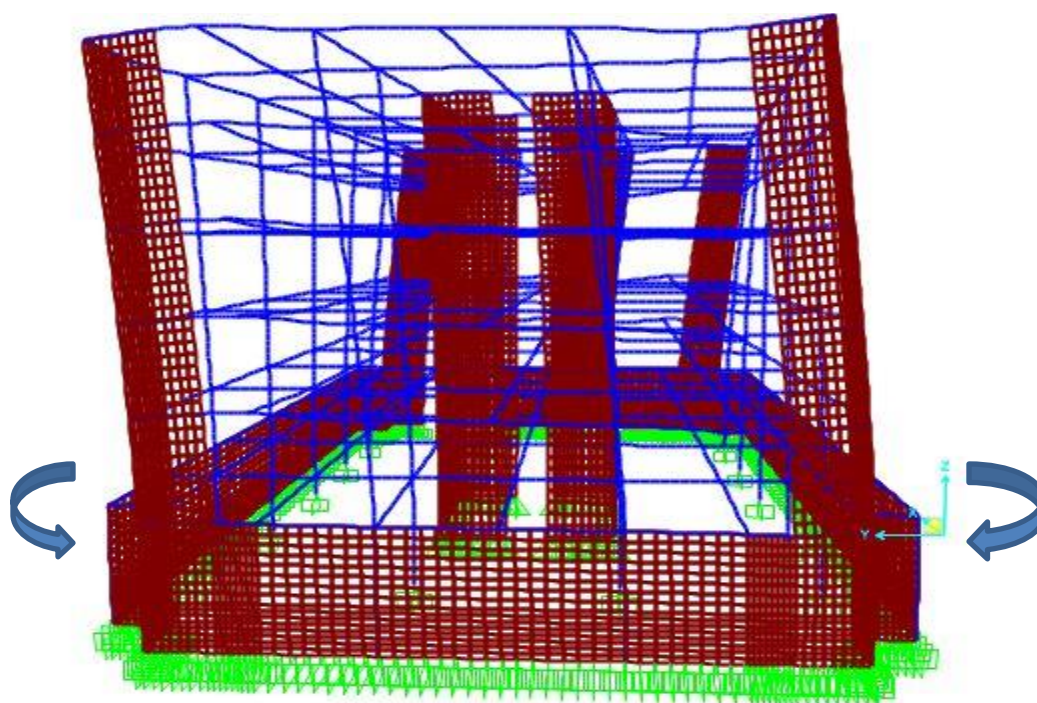


Figura No.15: Tercer Modo Rotacional del Edificio Convencional en Z.

4.2. MODELACIÓN COMPUTARIZADA DEL EDIFICIO

La modelación del edificio con base fija y base aislada se hizo mediante el programa sap2000 v16, debido a que este es un programa que tiene mucha ventaja tanto para el diseño como para el análisis estructural de la edificación, mediante dicho programa se crearon las secciones de cada elemento de la estructura y se definieron los casos de carga tal y como estaba contemplado en los planos y memoria de cálculo, también se puede llevar a cabo el análisis modal espectral correspondiente a la estructura con base fija y el Análisis No lineal tiempo historia correspondiente a la estructura con base aislada.

Otra ventaja de dicho programa es que con este se pueden definir las propiedades mecánicas de los aisladores, tanto las propiedades lineales como las no lineales mediante el elemento "Link/Support", una vez definidas las características de los aisladores estos se colocan debajo de cada elemento portante por medio del elemento "Draw 1 Point".

Luego de haber realizado el análisis para ambos casos, finalmente por medio del mismo programa se obtendrán los resultados finales, los cuales permitirán hacer una comparación entre el comportamiento de la estructura con base fija y con base aislada, dentro de estos resultados se tomarán en cuenta parámetros de respuesta sísmica tales como: el periodo, las aceleraciones absolutas, las derivadas de entrepiso, desplazamientos máximos y cortantes basales.

CAPITULO-5: ANALISIS DE LA ESTRUCTURA CON AISLACIÓN SISMICA DEL EDIFICIO EN ESTUDIO.

5.1. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO CON AISLACIÓN SÍSMICA.

Para poder asignar un sistema de aislación a una estructura se debe comenzar por analizarla sísmicamente es decir conocer la configuración estructural de esta, conocer la zona donde está ubicada, el tipo de suelo, conocer las cargas que están actuando sobre la estructura, etc., para que luego basándose en las Normativas correspondiente saber si es viable colocar un sistema de aislación sísmica a una estructura. En Nicaragua aún no se ha desarrollado este tipo de sistema sin embargo gracias a las experiencias de otros países hemos optado por considerar las recomendaciones acerca de la aislación sísmica, tomando en cuenta normativas, libros que tratan acerca del diseño y análisis de aisladores, a partir de todo esto es que comenzamos a analizar y diseñar nuestro edificio en estudio asignándoles el sistema de aislación sísmica.

El sistema de aislación del edificio en estudio consta de 54 aisladores de base;“los cuales se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga de la superestructura a la subestructura, ya sea en columnas o en muros, conectados por vigas de amarre, con los correspondientes pedestales de tope y de apoyo, en los lugares donde sea necesario una mayor área para la colocación del aislador.

El procedimiento para la modelación de la estructura aislada en general es el mismo de la estructura convencional, pero en lo referente al tipo de apoyo se debe realizar un procedimiento propio del sistema de aislación lo cual se describirá más adelante de forma detallada.

Para efectos de comparación y de selección de la mejor alternativa de aislación se presentara cuatro casos de sistemas de aislación basal, estos son: Sistema de aisladores HDR, LRB, FPS y un sistema mixto HDR+LRB dispuestos de forma que el LRB por sus características de rigidez inicial se encuentre en la parte perimetral del edificio para ayudar a controlar los efectos de la torsión y los HDR se dispondrán en la parte central de la estructura.

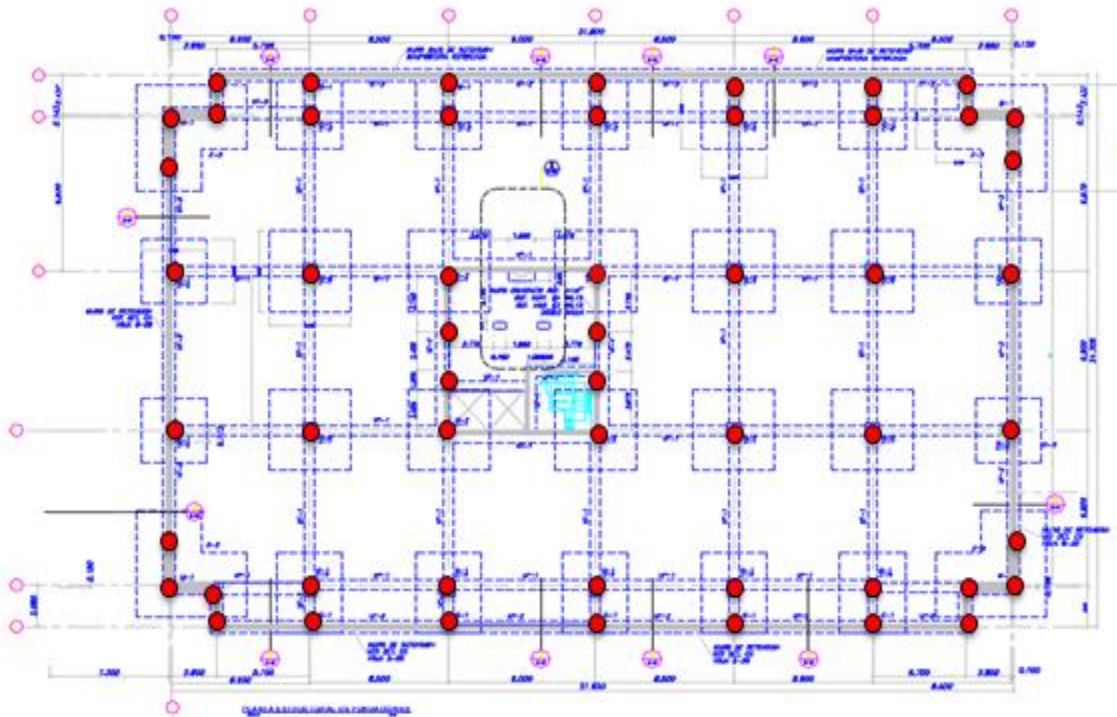


Figura No.116: Distribución en planta de los aisladores sísmicos del mismo tipo (HDR,LRB,FPS).

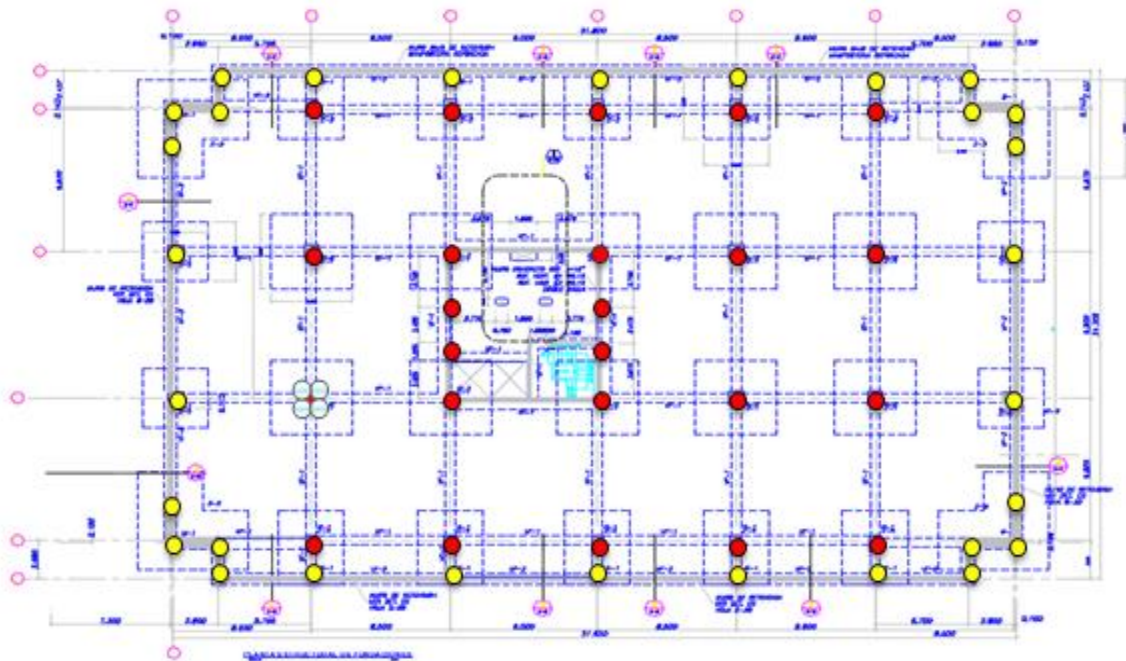


Figura No.17: Distribución en Planta de Aisladores Sísmicos de alto amortiguamiento y con núcleo de plomo (HDR y LRB).

5.2. ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA AISLADA

5.2.1. Modelación del edificio aislado

Para la modelación de la estructura aislada se consideran las mismas características de la estructura con base fija sumándole el sistema de aislación debajo de cada elemento portante de la estructura.

En lo que se refiere al sistema de aislación, este se modeló con las precauciones de considerar la distribución espacial de los aisladores, las traslaciones y torsiones, determinación de fuerzas de volcamiento, y otros efectos como ser carga vertical, velocidad de carga, etc.

El programa SAP 2000 permite modelar las propiedades bilineales de los aisladores a través del elemento Link Support/Properties mediante el cual se determina el comportamiento bilineal del aislador, las propiedades que se pueden introducir mediante este elemento son: la rigidez efectiva y amortiguamiento

efectivo consideradas como propiedades utilizadas para el caso de un análisis lineal, para el caso de un análisis no lineal se asignan propiedades como: la rigidez de pre-fluencia y la fuerza de fluencia correspondientes a los aisladores HDR Y LRB, para modelar los aisladores FPS por medio del elemento Link Support/Properties se introducen propiedades tanto lineales como no lineales agregándole otras características como el coeficiente de fricción y el radio de giro. Ver Anexo G.

5.2.2. ANALISIS DINAMICO DE LA RESPUESTA EN EL TIEMPO

GENERALIDADES

A continuación se realizara el análisis dinámico de la respuesta en el tiempo con el propósito de verificar el comportamiento de la estructura con cada tipo de sistema de aislación en su base ante la ocurrencia de un evento sismo, se optó por escoger este método ya que este puede utilizarse para el análisis de toda estructura sin importar los requerimientos que exige el reglamento con respecto a la configuración estructural del edificio.

Al realizarse este análisis deben cumplirse los siguientes objetivos:

- Verificar el diseño preliminar de los sistemas de aislación.
- Seleccionar el tipo de sistema de aislación sísmica que otorga el mejor comportamiento a la estructura a través de parámetros que representan la respuesta del edificio.
- Comparar el comportamiento de la estructura convencional con la estructura aislada sísmicamente para verificar que tan conveniente y ventajoso es colocar aisladores sísmicos al edificio en estudio.

Para realizar el análisis dinámico de respuesta en el tiempo , se aplicó el registro más desfavorable tanto a la estructura aislada como a la convencional, esto sólo

para poder comparar de buena manera el comportamiento entre ambos sistemas (convencional y aislado) conforme a los parámetros que representan la respuesta del edificio y de los cuales están relacionados con los niveles de desempeño que puede alcanzar la estructura, estos son:

- Desplazamiento del sistema de aislación.
- Desplazamiento relativo de la superestructura.
- Aceleración de los diferentes niveles de la superestructura.
- Cortante basal de la superestructura.

En la presente Tesis se utilizaron los registros del acelerógrafo ubicado en la Refinería ESSO del sismo del 23 de diciembre de 1972, siendo este el sismo de mayor envergadura que ha ocurrido en la ciudad de Managua, dichos registros se obtuvieron a partir de la base de datos Pacific Earthquake Engineering Research Center ⁽¹¹⁾ cuyas características de se muestran en la siguiente tabla:

Lugar del Sismo	Fecha	Estación de registro	Magnitud	Epicentro	PGA _{E-W}	PGA _{N-S}	PGA _V
Managua, Nicaragua	23/12/1972	Managua, ESSO	6.24	5.68	0.39	0.34	0.33

Tabla No.18: Características del registro usados en el análisis tiempo historia

Componentes Horizontales de Aceleración del Sismo de Managua 1972.

A continuación se presentan las componentes horizontales E-W, N-S y la componente vertical de las aceleraciones del sismo registrado en Managua el 23 de Diciembre de 1972, estos datos fueron obtenidos de la página web de Pacific Earthquake Engineering Research Center ⁽¹²⁾

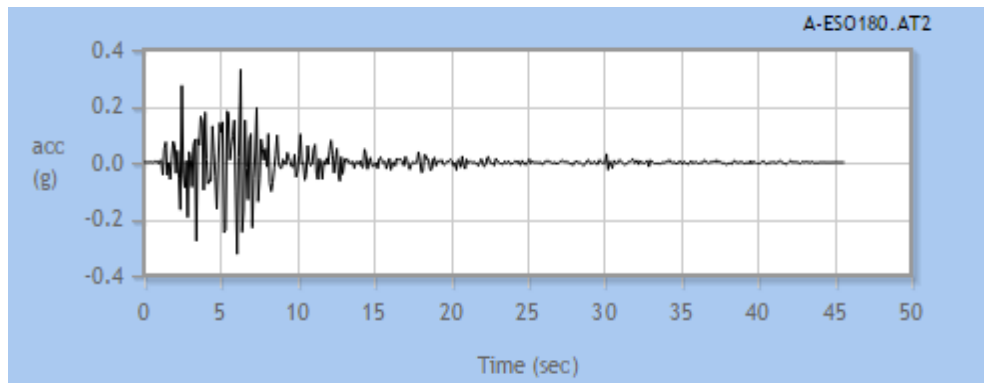


Figura No.18: Componentes horizontal E-W de aceleración del terremoto de Managua 1972

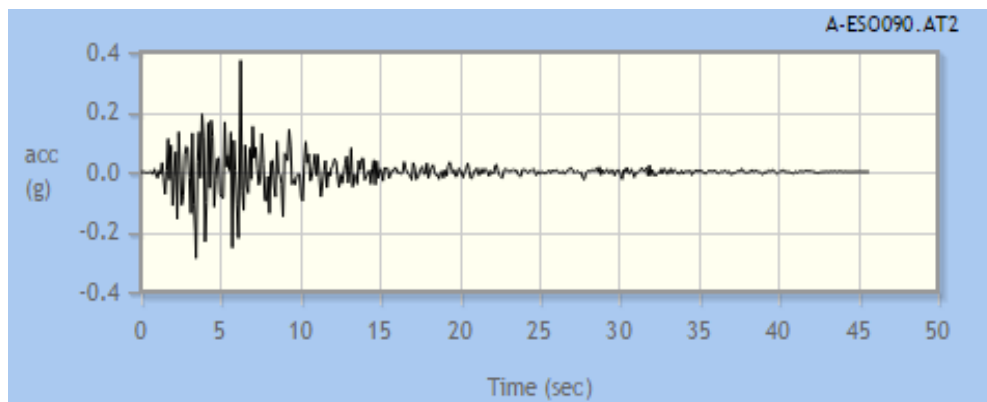


Figura No.19: Componente horizontal N-S de aceleración del terremoto de Managua 1972

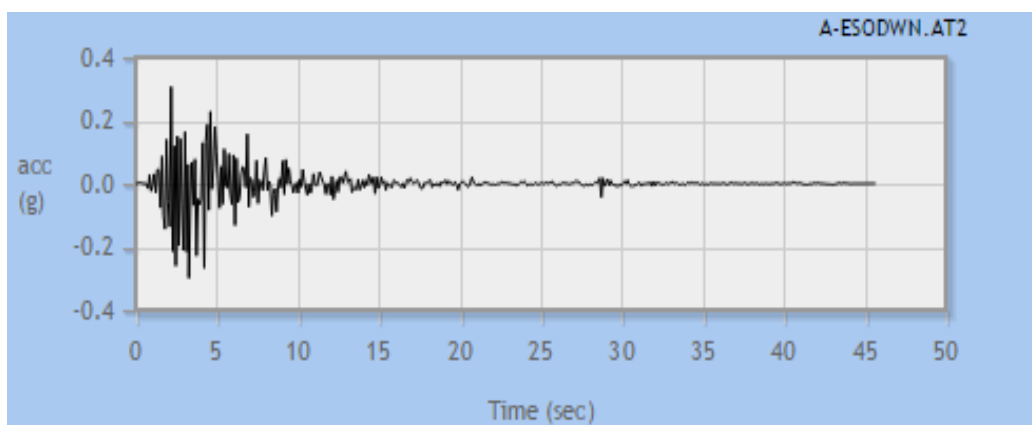


Figura No.20: Componente Vertical de aceleración del terremoto de Managua 1972

- **Periodos y Participación Modal de la Estructura Aislada: Caso HDR**

Para el caso de la estructura con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento HDR el periodo fundamental resulto ser de 2.698355 seg. lo cual es un periodo cercano al periodo objetivo de 2.5 seg. y corresponde a un periodo traslacional en Y, el segundo periodo es de 2.690026 seg. el cual tiene una mayor participación modal en X, el tercer periodo es de 2.530799 seg. el cual corresponde a un periodo torsional ya que tiene un mayor participación modal en Z.

Los tres primeros modos de vibración representan la casi totalidad de la respuesta ya que los modos superiores no tienen mucha participación en el movimiento de la estructura. Es importante mencionar que los dos primeros periodos traslacionales de la estructura aislada son aproximadamente iguales cuya relación es igual a 1, el periodo torsional correspondiente al tercer modo no difiere mucho de los periodos traslacionales teniendo una relación aproximadamente igual a 1.1 esto demuestra de la buena ubicación en planta de los aisladores.

Según las formas modales de traslación y rotación se considera que la estructura permanece rígida mientras tanto las deformaciones se concentran en el nivel de aislación.

Modo	Periodo Seg	Frecuencia (ciclos/seg)	Participación Modal %		
			U_x	U_y	R_z
1	2.698355	0.3706	0.0680	98.2590	1.657
2	2.690026	0.37174	99.9130	0.0610	0.014
3	2.530799	0.39513	0.0072	1.6630	98.325
4	0.265663	3.7642	0.0001	0.0160	0.0000
5	0.253086	3.9512	0.0120	0.0001	0.0000
6	0.188606	5.3021	0.0000	0.0000	0.0042
7	0.166444	6.008	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.156917	6.3728	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.151148	6.616	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.138469	7.2218	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.12747	7.845	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.108492	9.2173	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.070421	14.2	0.0000	0.0001	0.0000
14	0.06349	15.751	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.048914	20.444	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.023315	42.891	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.019015	52.591	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.018884	52.956	0.0000	0.0000	0.0000
Σ			100%	100%	100%

Tabla No.19: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso HDR.

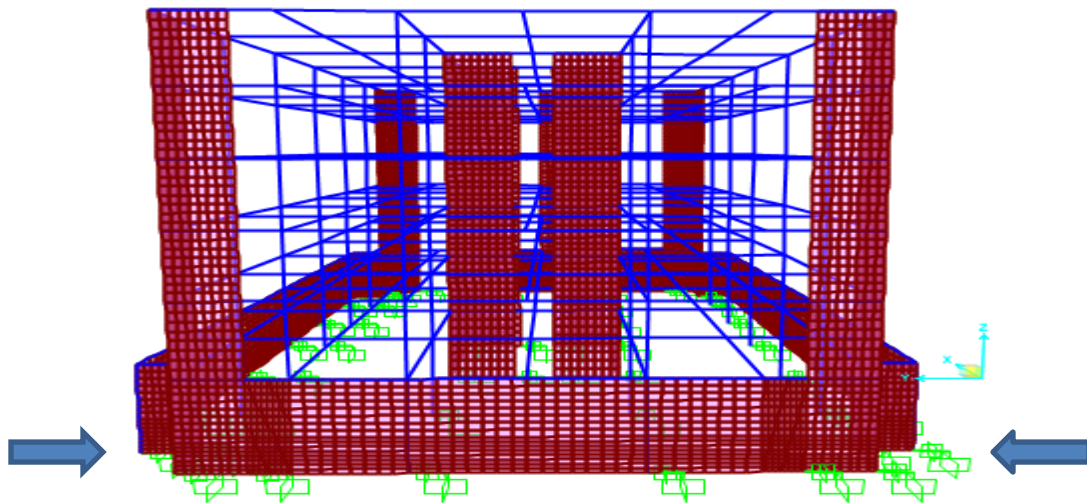


Figura No.21: Primer modo traslacional en Y de la estructura con aisladores sísmicos HDR

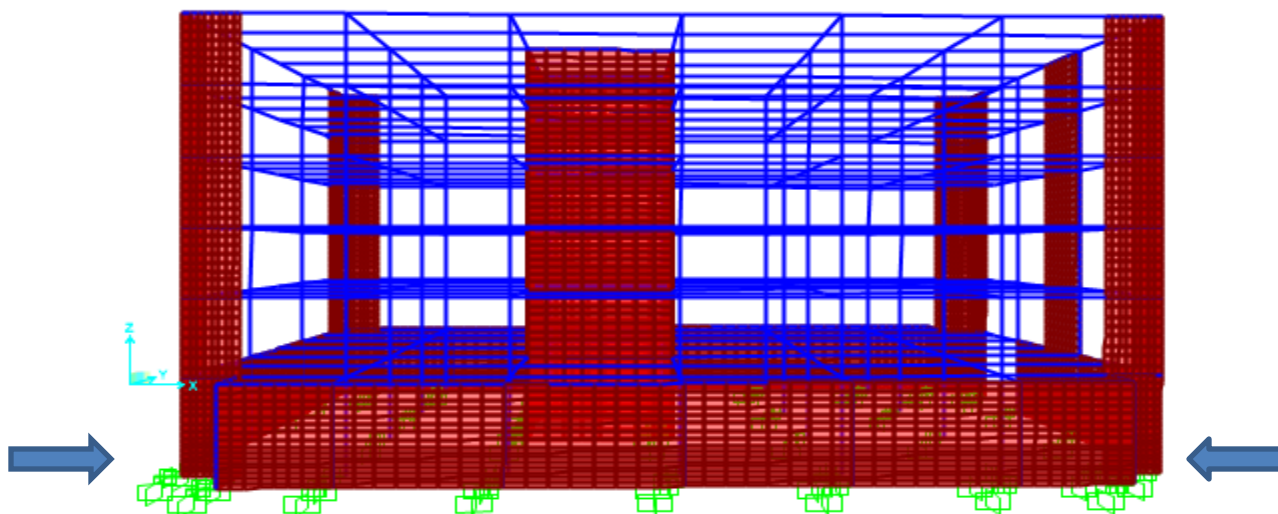


Figura No.22: Segundo modo traslacional en X de la estructura con aisladores sísmicos HDR

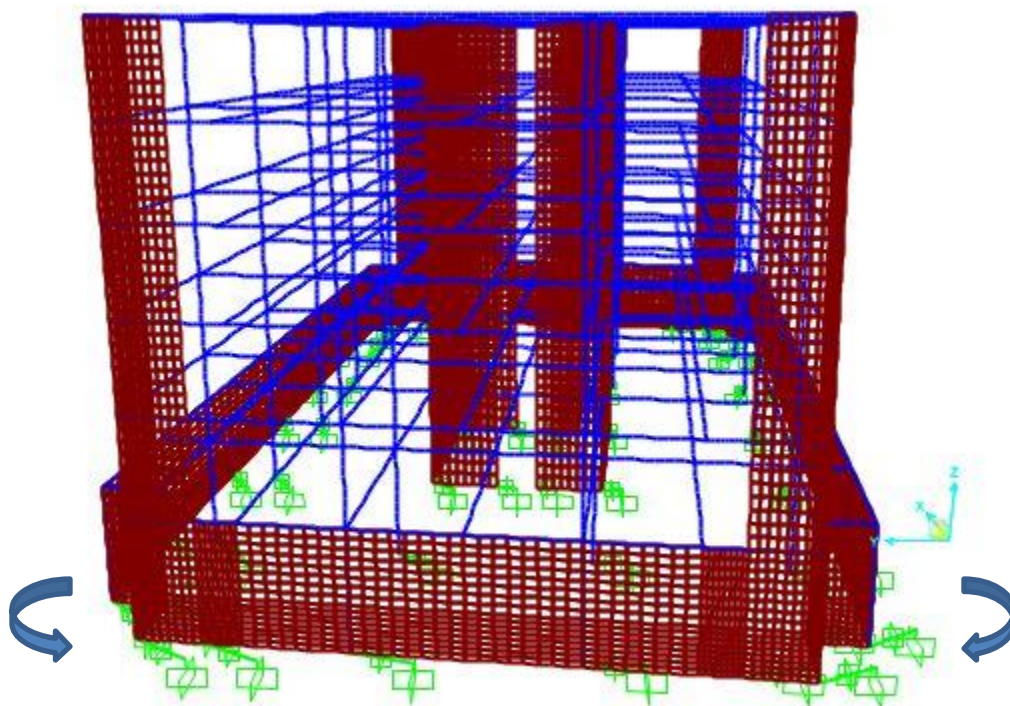


Figura No.23: Tercer modo rotacional en z de la estructura con aisladores sísmicos HDR.

- **Periodos y Participación Modal de la Estructura Aislada: Caso LRB**

Para el caso de la estructura con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB el periodo fundamental resulto ser de 2.1407 seg., lo cual es un periodo cercano al periodo objetivo de 2.5 seg. y corresponde a un periodo traslacional en Y, el segundo periodo es de 2.133017 seg., el cual tiene una mayor participación modal en X, el tercer periodo es de 2.00359 seg., el cual corresponde a un periodo torsional ya que tiene un mayor participación modal en Z.

Igual al caso anterior los tres primeros modos de vibración representan la casi totalidad de la respuesta ya que los modos superiores no tienen mucha participación en el movimiento de la estructura, los dos primeros periodos traslacionales de la estructura aislada son aproximadamente iguales cuya relación es igual a 1, el periodo torsional no difiere mucho de los periodos traslacionales teniendo una relación igual a 1.1 esto demuestra la buena ubicación en planta de los aisladores.

Según las formas modales de traslación y rotación se considera que la estructura permanece rígida mientras tanto las deformaciones se concentran en el nivel de aislación.

Modo	Periodo Seg	Frecuencia (ciclos/seg)	Participación Modal %		
			U _x	U _y	R _z
1	2.104878	0.47509	0.123	98.279	1.558
2	2.096822	0.47691	99.84	0.114	0.015
3	1.969067	0.50785	0.00602	1.567	98.416
4	0.259272	3.857	0.0002293	0.039	0.0000
5	0.248711	4.0207	0.031	0.0001701	0.0000
6	0.18674	5.355	0.0000	0.0000	0.011
7	0.157605	6.345	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.151358	6.6068	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.146861	6.8092	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.131572	7.6004	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.126928	7.8785	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.104154	9.6012	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.067957	14.715	0.0000	0.0002354	0.0000
14	0.062002	16.129	0.0001285	0.0000	0.0000
15	0.046969	21.291	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.02237	44.704	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.017923	55.794	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.017052	58.646	0.0000	0.0000	0.0000
Σ			100%	100%	100%

Tabla No.20: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso LRB.

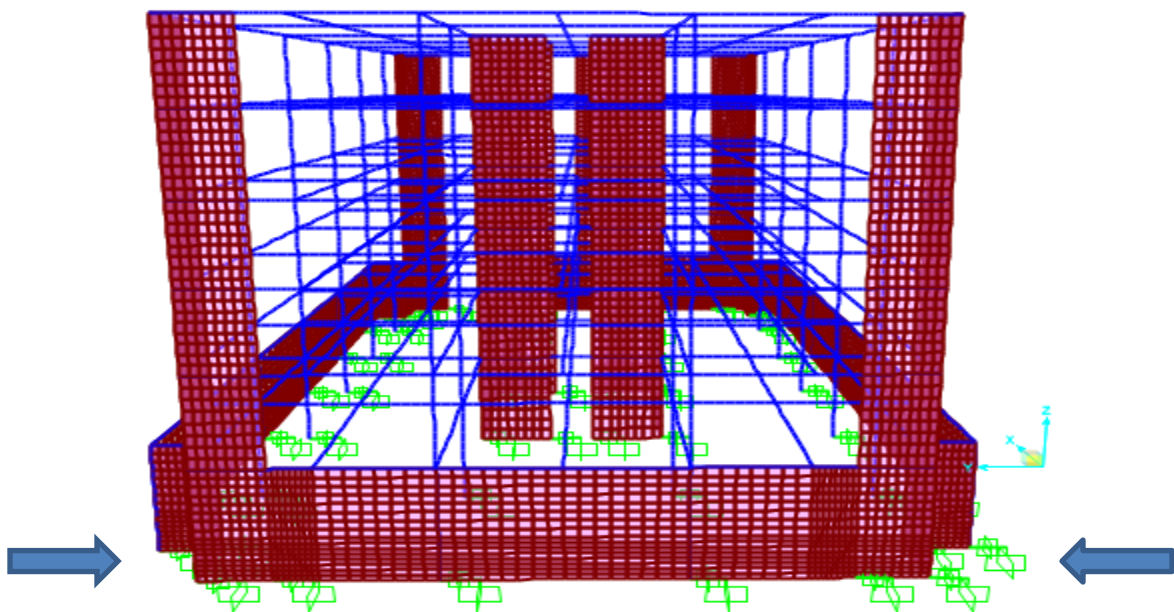


Figura No.24: Primer modo traslacional en Y de la estructura con aisladores sísmicos LRB

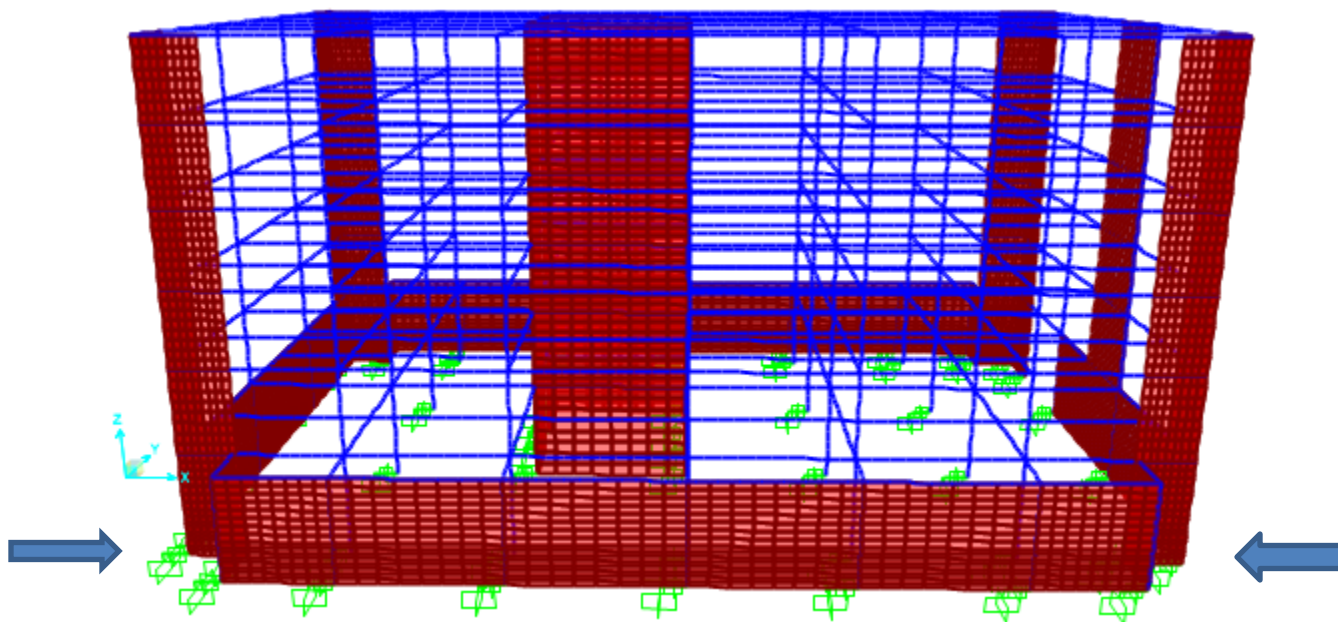


Figura No.25: Segundo modo traslacional en X de la estructura con aisladores sísmicos LRB

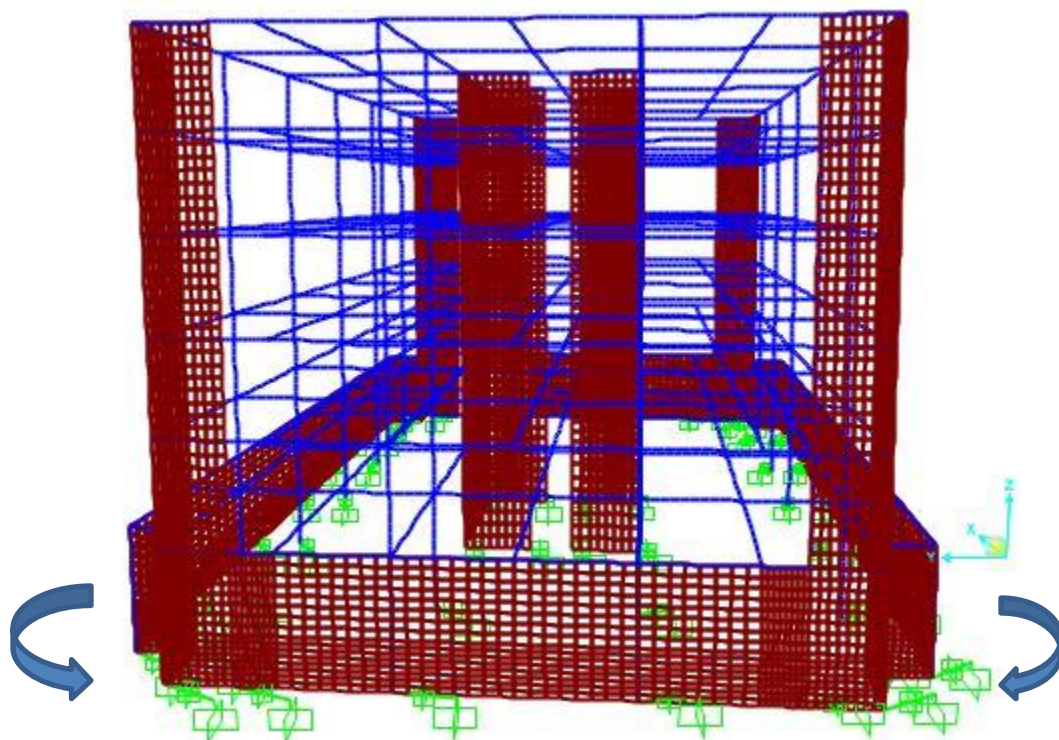


Figura No.26: Tercer modo traslacional en Z de la estructura con aisladores sísmicos LRB

- **Periodos y Participación Modal de la Estructura Aislada: Caso FPS**

Para el caso de la estructura con aisladores elastoméricos FPS el periodo fundamental resulto ser de 1.9132 seg., lo cual es un periodo cercano al periodo objetivo de 2.5 seg. y corresponde a un periodo traslacional en Y, el segundo periodo es de 1.907052 seg., el cual tiene una mayor participación modal en X, el tercer periodo es de 1.790182 seg., el cual corresponde a un periodo torsional ya que tiene un mayor participación modal en Z. Nuevamente los tres primeros modos de vibración representan la casi totalidad de la respuesta ya que los modos superiores no tienen mucha participación en el movimiento de la estructura, los dos primeros periodos traslacionales de la estructura aislada son aproximadamente iguales cuya relación es igual a 1, el periodo torsional no difiere mucho de los periodos traslacionales teniendo una relación igual a 1.10 esto demuestra la buena ubicación en planta de los aisladores.

Modo	Periodo Seg	Frecuencia (ciclos/seg)	Participación Modal %		
			U_x	U_y	R_z
1	1.9132	0.52268	0.02783	98.5	1.5
2	1.907052	0.52437	99.9	0.0243	0.01026
3	1.790182	0.5586	0.0067	1.5	98.5
4	0.231032	4.3284	0.0007	0.0459	0.0000
5	0.227242	4.4006	0.0382	0.0007	0.0000
6	0.172997	5.7805	0.0000	0.0000	0.0146
7	0.02139	46.751	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.021136	47.312	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.019541	51.174	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.018399	54.35	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.016742	59.73	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.015003	66.655	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.014871	67.245	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.008205	121.88	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.00445	224.71	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.004049	246.96	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.00268	373.11	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.002335	428.34	0.0000	0.0000	0.0000
Σ			100%	100%	100%

Tabla No.21. Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso FPS.

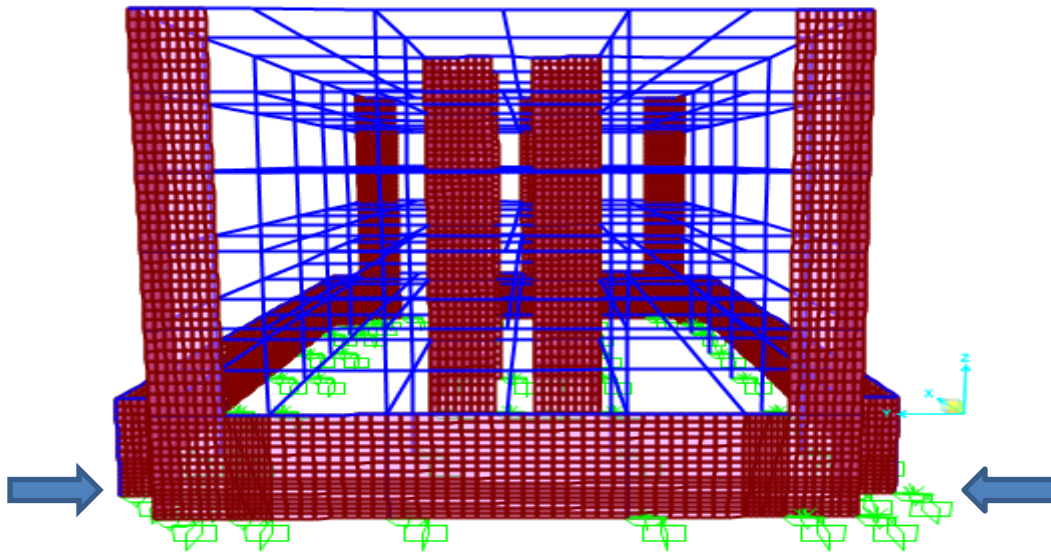


Figura No.27: Primer modo traslacional en Y de la estructura con aisladores sísmicos FPS.

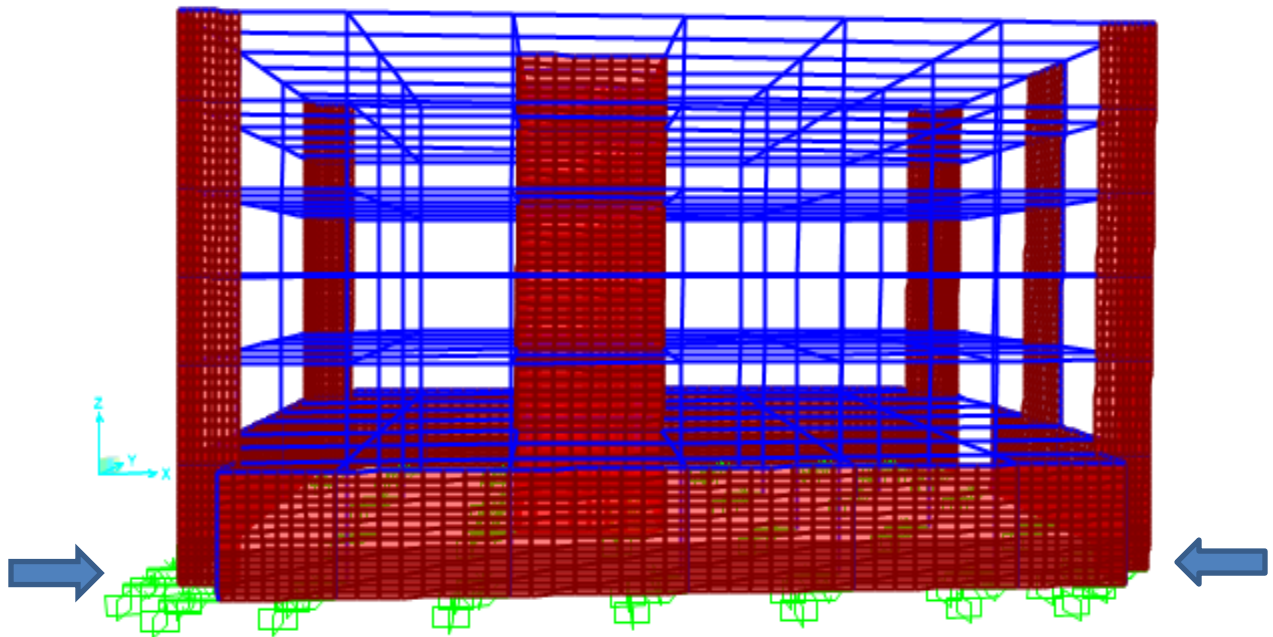


Figura No.28: Segundo modo traslacional en X de la estructura con aisladores sísmicos

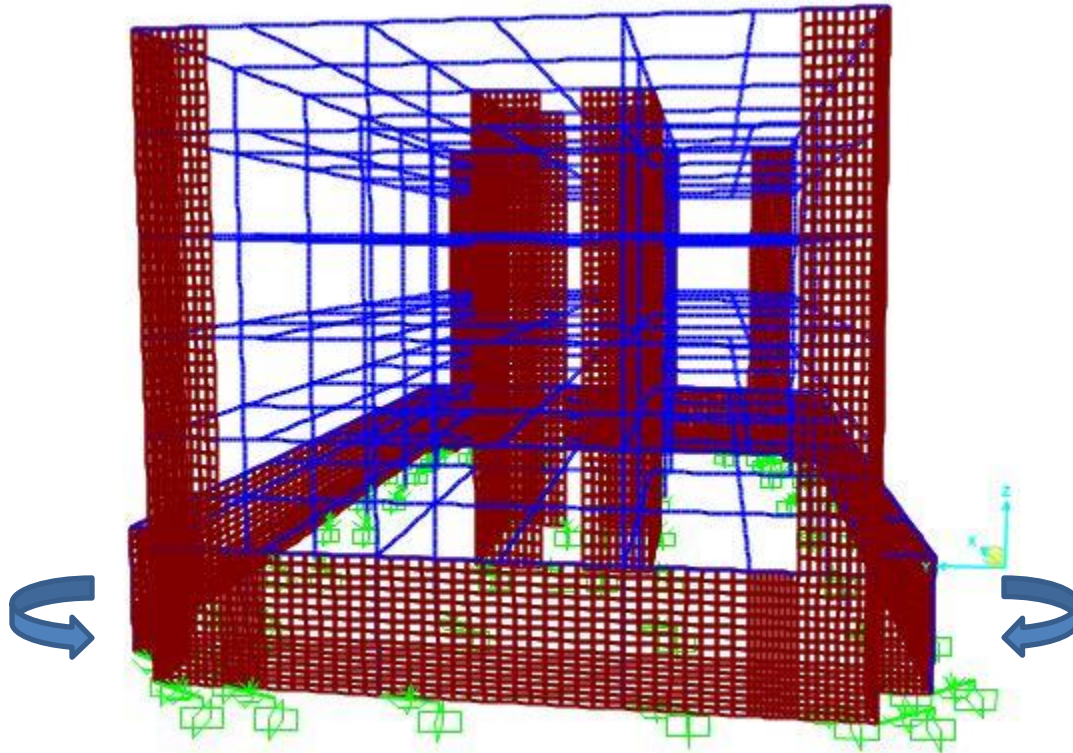


Figura No.29: Tercer modo rotacional en Z de la estructura con aisladores sísmicos FPS.

- **Periodos y Participación Modal de la Estructura Aislada: Caso Mixto HDR+LRB**

Para el caso de la estructura con aisladores elastoméricos HDR combinado con aisladores LRB el periodo fundamental resulto ser de 2.136957 seg. lo cual es un periodo cercano al periodo objetivo de 2.5 seg. y corresponde a un periodo traslacional en Y, el segundo periodo es de 2.130858 seg. el cual tiene una mayor participación modal en X, el tercer periodo es de 1.910483 seg. el cual corresponde a un periodo torsional ya que tiene un mayor participación modal en Z.

Como en los tres sistemas anteriores los tres primeros modos de vibración para el sistema HDR+LRB representan la casi totalidad de la respuesta ya que los modos superiores no tienen mucha participación en el movimiento de la estructura, los dos primeros periodos traslacionales de la estructura aislada son aproximadamente iguales cuya relación es igual a 1, el periodo torsional no difiere

mucho de los periodos traslacionales teniendo una relación igual a 1.10 esto demuestra la buena ubicación en planta de los aisladores.

Los modos traslacionales tienen menor influencia torsional con respecto a los demás casos esto se debe a la ubicación de los aisladores LRB en el perímetro del edificio el cual ayuda a este tener un mejor comportamiento torsional.

Según las formas modales de traslación y rotación se considera que la estructura permanece rígida mientras tanto las deformaciones se concentran en el nivel de aislación.

Modo	Periodo Seg	Frecuencia (ciclos/seg)	Participación Modal %		
			U_x	U_y	R_z
1	2.136957	0.46796	0.3914	99.3	0.3126
2	2.130858	0.46929	99.6	0.3885	0.003628
3	1.910483	0.52343	0.0006	0.3155	99.7
4	0.261489	3.8243	0.0002	0.03748	0.0000
5	0.251125	3.9821	0.0299	0.0002	0.0000
6	0.186546	5.3606	0.0000	0.0000	0.0126
7	0.167175	5.9817	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.158291	6.3175	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.152303	6.5659	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.14094	7.0952	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.130668	7.653	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.118119	8.466	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.068181	14.667	0.0000	0.0002	0.0000
14	0.062	16.129	0.0001	0.0000	0.0000
15	0.047313	21.136	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.022719	44.016	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.018284	54.692	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.017376	57.551	0.0000	0.0000	0.0000
Σ			100%	100%	100%

Tabla No.22: Porcentaje de participación modal según el periodo y la frecuencia, caso combinado LBR + HDR.

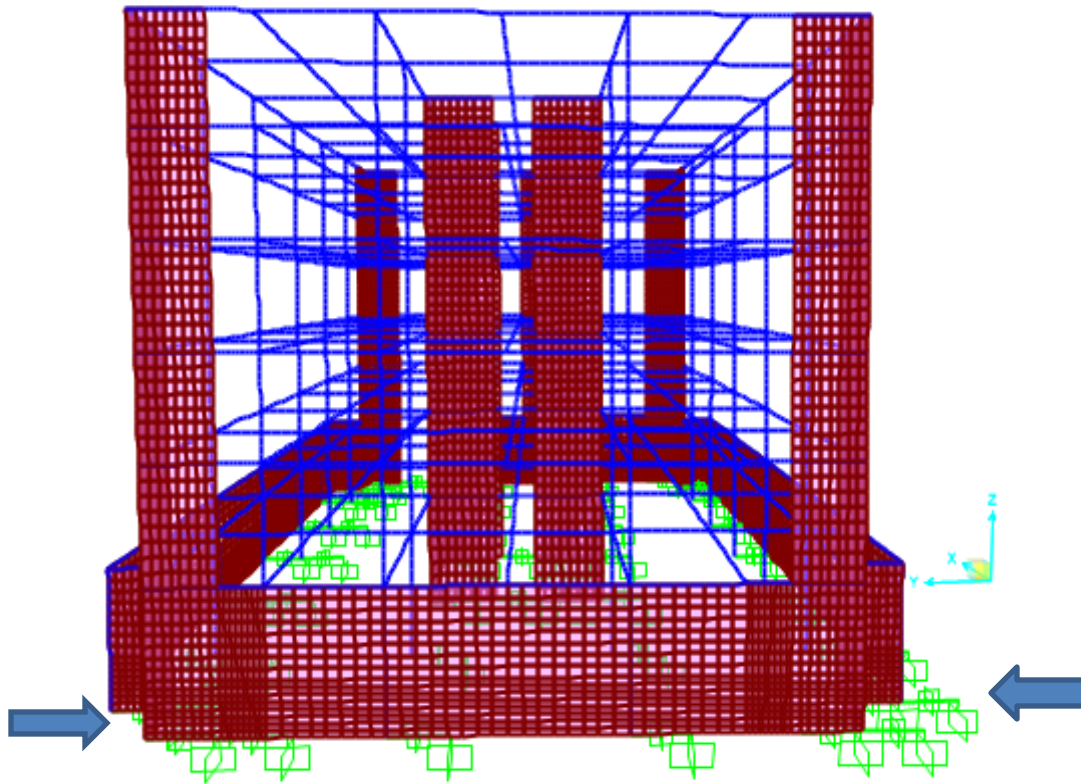


Figura No.30: Primer modo traslacional en Y de la estructura aislada con un sistema mixto de aisladores sísmicos HDR+LRB

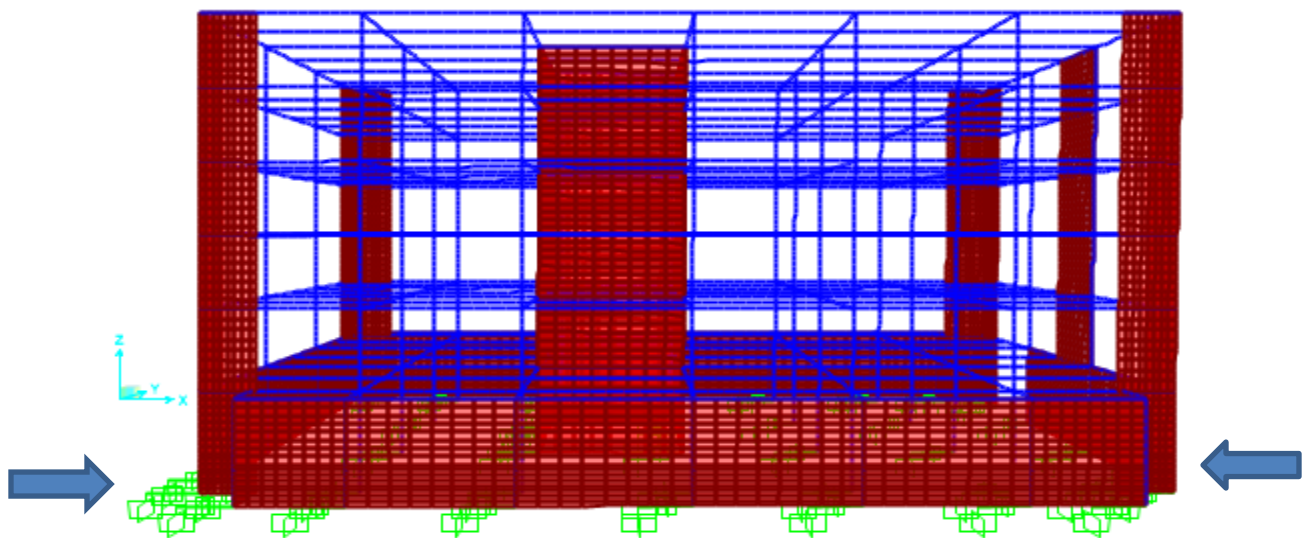


Figura No.31: Segundo modo traslacional en Y de la estructura aislada con un sistema mixto de aisladores sísmicos HDR+LRB

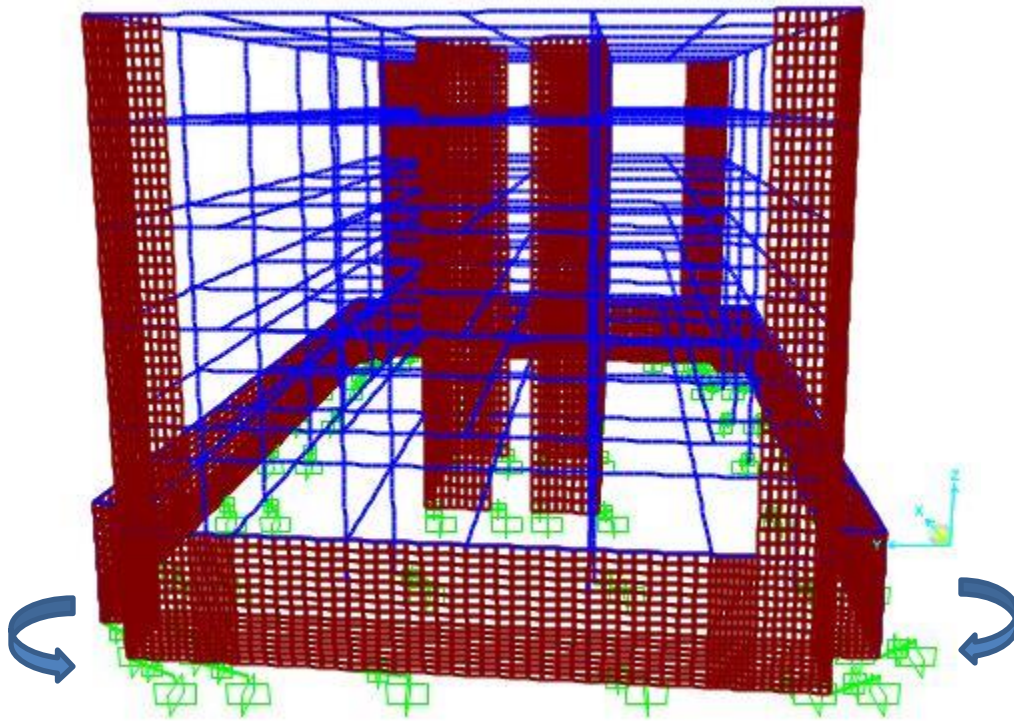


Figura No.32: Tercer modo traslacional en Y de la estructura aislada con un sistema mixto de aisladores sísmicos HDR+LRB

CAPITULO – 6: COMPARACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DINAMICO DE LA ESTRUCTURA CON BASE FIJA Y CON BASE AISLADA.

6.1. COMPARACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL Y AISLADA

6.1.1. Periodos y masa participativa de la estructura convencional y la aislada.

A continuación se presenta una tabla y una gráfica el cual representa la diferencia de los periodos entre la estructura convencional y la aislada.

Tipo de Sistema	Periodo
Convencional	0.379665
HDR	2.698355
LRB	2.104878
FPS	1.9132
HDR+LRB	2.136957

Tabla No.23: Periodos de la Estructura Convencional y Aislada.

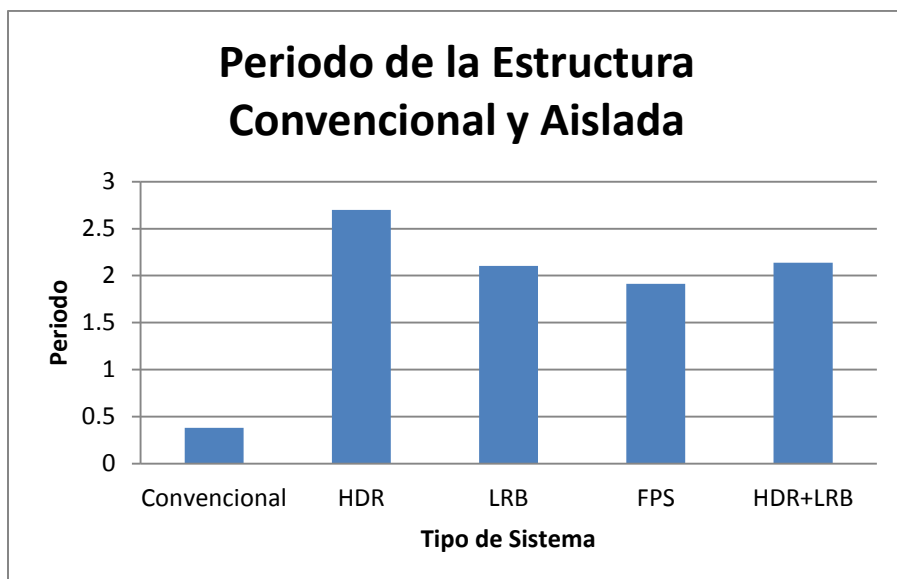


Figura No.33: Periodos de la Estructura Convencional y Aislada

En la tabla y grafica anterior podemos observar un aumento significativo del periodo al implementar aisladores sísmicos en la base de la estructura presentando el mayor incremento en los aisladores HDR con un 86% en comparación con la estructura empotrada siendo también el que más se acerca al periodo de diseño, las masas de participación modal para todos los tipo de aisladores incrementa un 4% en la dirección X, en la dirección Y incrementa un 3% y en la dirección Z incrementa en 6%, logrando satisfacer unos de los requisitos fundamentales de los aisladores sísmicos que es la flexibilidad horizontal.

- **Parámetros de respuesta sísmica**

A continuación se presenta la comparación entre la estructura convencional con la aislada por medio de los parámetros que determinan la respuesta sísmica del edificio tales como: los desplazamientos relativos, las aceleraciones absolutas y los cortantes basales, esto con el fin de determinar si es ventajoso implementar aisladores sísmicos a la estructura en estudio, y si ese fuese el caso poder identificar el sistema de aislación más eficiente y que presente un mejor comportamiento ante el sismo aplicado.

En esta comparación se aplicó el Análisis No lineal Tiempo Historia con los registros del terremoto en Managua en 1972 utilizando las componentes E-W y N-S, esto con el propósito de que dicha comparación sea válida y efectiva.

6.1.2. Desplazamientos Máximos de la Estructura Convencional y Aislada

A continuación se presenta la diferencia entre los desplazamientos de una estructura convencional y una aislada así como las Derivas relativas que experimentan ambos casos, por medio de estos parámetros se podrá observar el comportamiento de la estructura frente a la acción sísmica y medir el índice de daño que puede llegar a sufrir el edificio tanto con base empotrada y con la implementación de los aisladores en la base , además podremos identificar el tipo de sistema aislado que presente un mejor comportamiento y que brinde a la

estructura la resistencia necesaria sin daños significativo en los elementos estructurales y no estructurales.

Desplazamientos máximos de la estructura convencional y aislada										
Nivel	Base Fija		HDR		LRB		FPS		HDR+LRB	
	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)
0	0	0	0.02006	0.01698	0.01394	0.01788	0.01136	0.01144	0.01304	0.012218
1	0.00060	0.00107	0.02021	0.01716	0.01409	0.01823	0.01137	0.01145	0.01323	0.0125
2	0.00262	0.00384	0.02054	0.01744	0.01438	0.01873	0.0113	0.01145	0.01358	0.012936
3	0.00511	0.00713	0.02090	0.01774	0.01466	0.01924	0.01137	0.01145	0.01393	0.013371
4	0.00794	0.01070	0.02128	0.01804	0.01493	0.01975	0.01137	0.01145	0.01427	0.013798
5	0.01088	0.01424	0.02165	0.01833	0.01518	0.02025	0.01138	0.01145	0.01460	0.014199
6	0.01376	0.01761	0.02202	0.01860	0.01542	0.02072	0.01137	0.01145	0.01490	0.014576

Tabla No.24: Desplazamiento máximos de la estructura convencional y aislada.

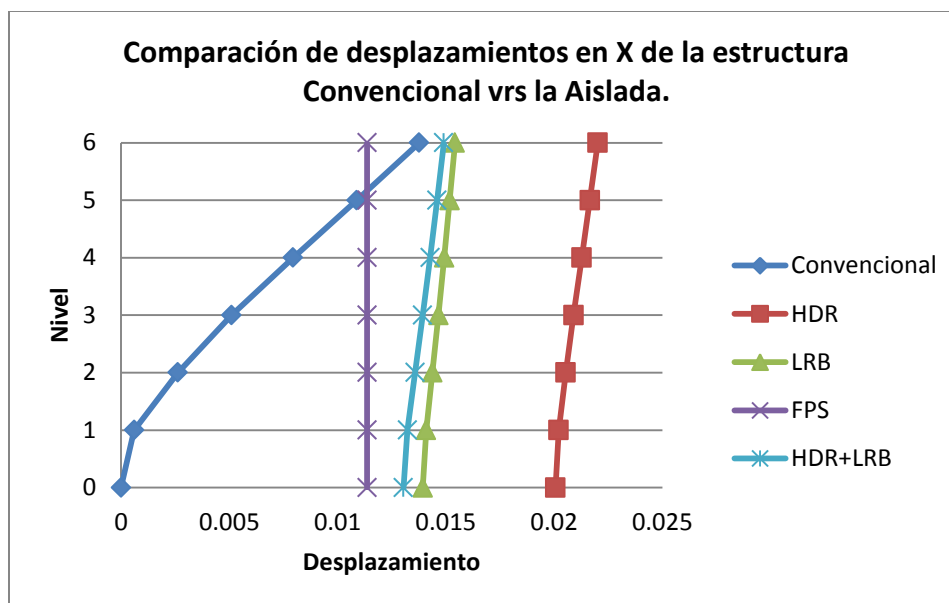


Figura No.34: Desplazamiento máximos en X de la estructura convencional y aislada

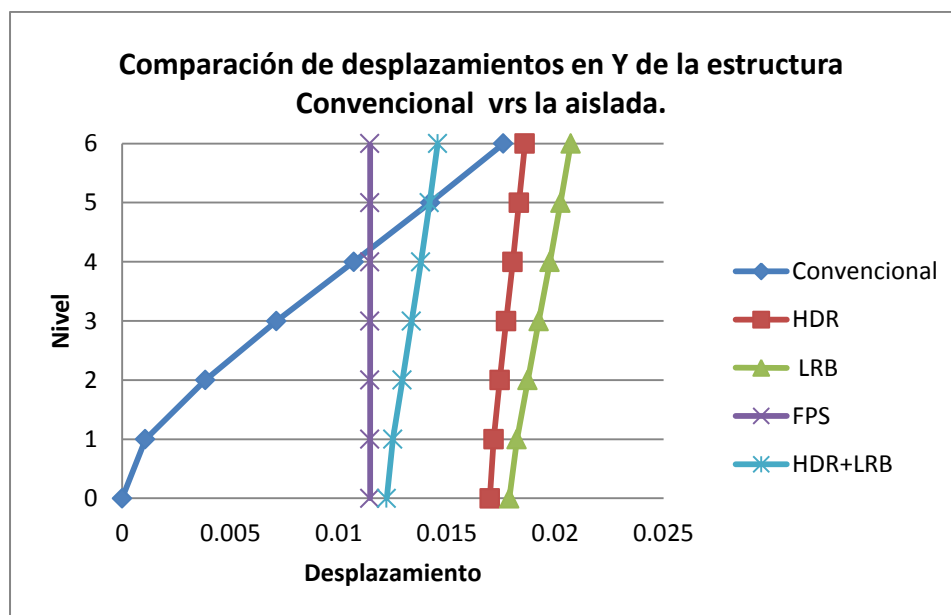


Figura No.35: Desplazamiento máximos en Y de la estructura convencional y aislada

Derivas de Piso de la estructura convencional y aislada										
Nivel	Base Fija		HDR		LRB		FPS		HDR+LRB	
	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)	Sismo X (m)	Sismo Y (m)
1	0.00013	0.00023	0.00003	0.00003	0.00003	0.00006	0	0	0.00003	0.00005
2	0.00044	0.00060	0.00007	0.00006	0.00006	0.00011	0.0000002	0	0.00008	0.000095
3	0.00061	0.00080	0.00009	0.00007	0.00007	0.00012	0	0.0000002	0.00009	0.00011
4	0.00069	0.00087	0.00009	0.00007	0.00007	0.00012	0	0	0.00008	0.00010
5	0.00072	0.00086	0.00009	0.00007	0.00006	0.00012	0	0.0000002	0.00008	0.00010
6	0.00070	0.00082	0.00009	0.00007	0.00006	0.00011	0.0000002	0	0.00007	0.00009

Tabla No.25: Derivas de piso de la estructura convencional y aislada

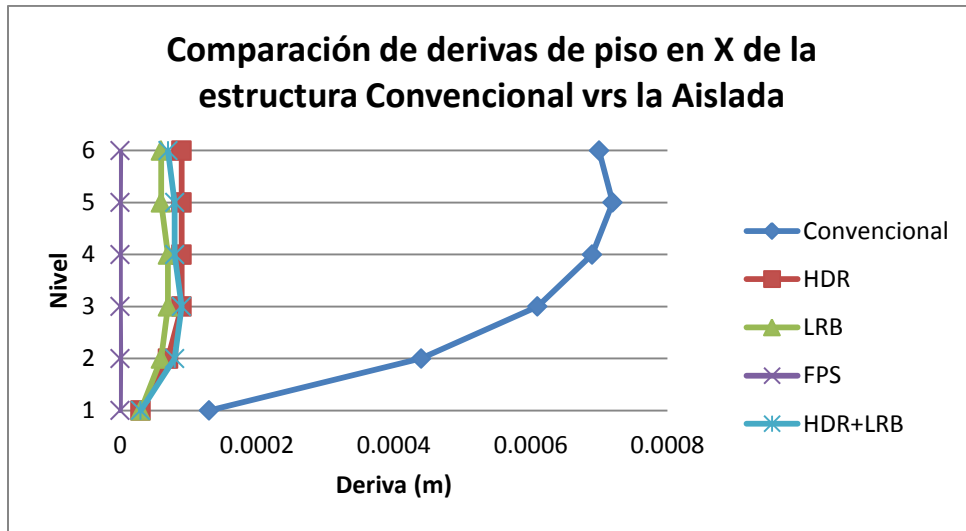


Figura No.36: Derivas de Piso en X de la estructura convencional y aislada

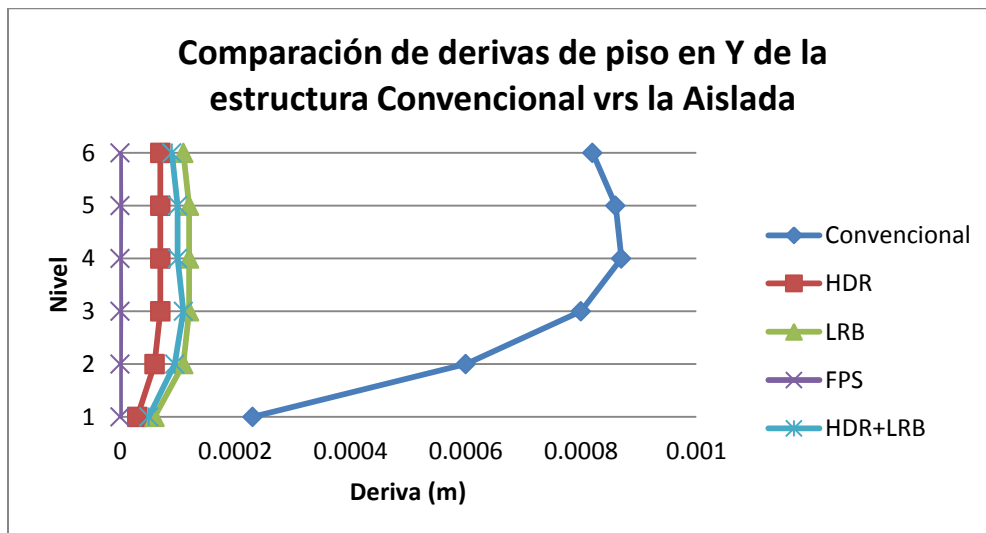


Figura No.37: Derivas de Piso en Y de la estructura convencional y aislada

Se puede apreciar una significativa disminución de derivas de piso en la estructura con sistemas de aislación sísmica, presentándose en el sistema FPS desplazamientos similares en cada uno de los niveles que conllevan a derivas de piso iguales a cero, siendo este el sistema más efectivo en cuanto a la reducción de distorsiones que aseguran la disminución de daños en el edificio, para los demás sistemas de aisladores se puede observar que los menores desplazamientos se producen en los primeros pisos y luego estos van

incrementándose a medida que va aumentando los niveles del edificio presentándose distorsiones leves de entrepisos, resultando el sistema LRB el segundo más efectivo para el sismo en x con menores valores de derivas con una reducción de hasta el 92% en comparación al edificio convencional, seguido del sistema Mixto HDR+LRB con una reducción de hasta el 89% y por último se encuentra el HDR en donde se presentan los mayores valores de derivas en comparación de los demás sistemas con una reducción máxima de 87%, para el sismo en Y el sistema HDR presenta los menores valores de derivas en comparación con el sistema convencional con una reducción del 92%, seguido del sistema mixto HDR+LRB con un 89% de reducción y por último el LRB con una reducción del 87%.

6.1.3. Aceleraciones absolutas de la estructura.

En este caso de análisis, se presentan las aceleraciones absolutas para cada nivel del edificio en estudio, para comprender de mejor manera el comportamiento dinámico del mismo, como sabemos este parámetro de diseño y seguridad es muy importante ya que se relaciona directamente con los daños que pueden sufrir los equipos y contenido que se encuentre en el interior de la estructura, si llegara a ocurrir un evento sísmico.

Aceleraciones Absolutas de la estructura convencional y aislada										
Nivel	Base Fija		HDR		LRB		FPS		HDR+LRB	
	Sismo X (g)	Sismo Y (g)	Sismo X (g)	Sismo Y (g)	Sismo X (g)	Sismo Y (g)	Sismo X (g)	Sismo Y (g)	Sismo X (g)	Sismo Y (g)
0	0	0	0.04704	0.03902	0.10435	0.09469	0.00363	0.00428	0.11316	0.11582
1	0.34199	0.39720	0.04549	0.03859	0.09929	0.08094	0.00348	0.00398	0.10904	0.10998
2	0.33616	0.48900	0.03878	0.03697	0.08029	0.06900	0.00318	0.00341	0.09191	0.09230
3	0.43622	0.38688	0.03423	0.03378	0.05527	0.05447	0.00340	0.00343	0.06740	0.06732
4	0.31249	0.34843	0.03419	0.03593	0.07112	0.06636	0.00364	0.00369	0.06470	0.06572
5	0.37865	0.42474	0.04356	0.04564	0.10559	0.09021	0.00389	0.00395	0.09316	0.09400
6	0.58331	0.95397	0.06202	0.05686	0.13955	0.12231	0.00413	0.00419	0.12692	0.13429

Tabla No.26: Aceleraciones Absolutas de la estructura convencional y aislada

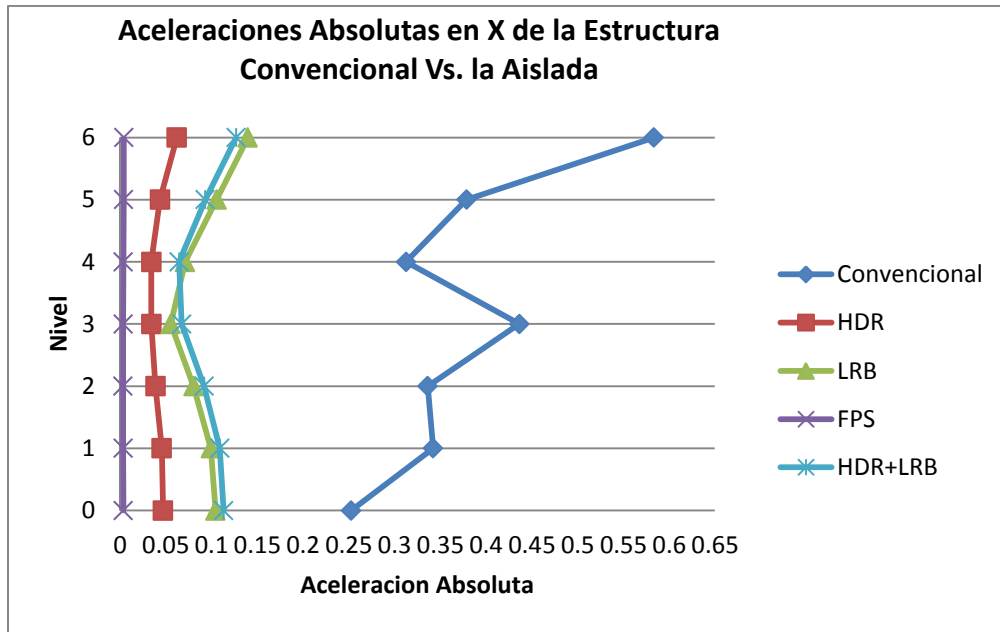


Figura No.38: Aceleraciones Absolutas en X de la estructura convencional y aislada

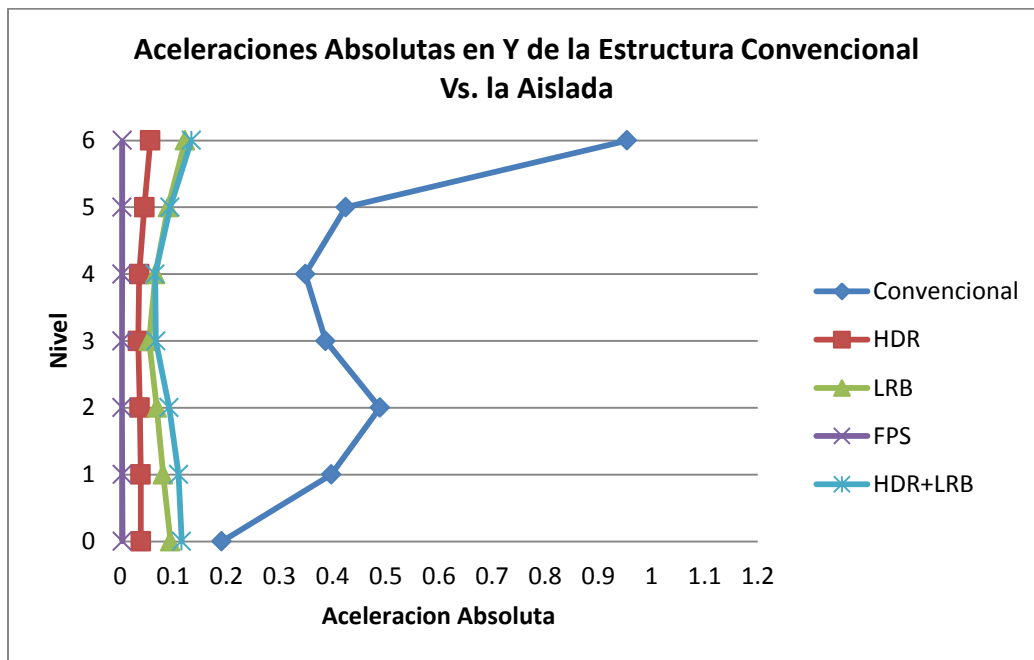


Figura No.39: Aceleraciones Absolutas en Y de la estructura convencional y aislada

Como se puede observar en la Tabla No. 18 y en la Figura No.34 y Figura No.35, los sistemas aislados presentan menores aceleraciones que el sistema empotrado siendo el FPS el que mejor responde presentando las menores aceleraciones en ambas direcciones.

Además podemos identificar claramente que la estructura aislada con aisladores FPS presenta gráficamente una tendencia lineal y para los demás aisladores existe una cierta variación pero sin cambios bruscos de nivel a nivel y con una variación de valores de aceleraciones muy mínimas entre uno y otro nivel, sin embargo si miramos los valores de la estructura empotrada presenta cambios extremadamente violentos entre nivel y nivel, comprobando así la efectividad de los sistemas de aislación.

6.1.4. Cortante basal de la estructura.

Los cortantes basales que actúan en la estructura convencional y aislada se presentan en la Tabla No. 19, estableciendo una comparación por medio de gráficos donde se muestra la variación del cortante por nivel tanto para el sistema con base fija como para el sistema aislado esto con el fin de determinar si es adecuado la implementación de los aisladores sísmicos en la base y poder identificar el tipo de sistema más efectivo y que presente un mejor comportamiento.

Cortante Basal de la estructura convencional y aislada										
Nivel	Base Fija		HDR		LRB		FPS		HDR+LRB	
	Sismo X (KN)	Sismo Y (KN)	Sismo X (KN)	Sismo Y (KN)	Sismo X (KN)	Sismo Y (KN)	Sismo X (KN)	Sismo Y (KN)	Sismo X (KN)	Sismo Y (KN)
0-1	24927.659	27306.61	3326.724	2963.86	4914.178	4908.461	1703.206	1261.229	5072.922	4884.303
1-2	18328.987	23065.383	2420.482	2626.014	4872.013	4353.721	653.969	674.429	4316.915	4503.132
2-3	16048.491	20283.772	2102.635	2141.446	4805.067	4095.643	585.774	603.456	4166.323	4209.567
3-4	14206.041	15691.276	1734.292	1891.17	4173.779	3450.659	560.403	576.947	3836.878	3771.558
4-5	10597.363	15547.555	1326.733	1326.628	3044.422	2606.04	566.16	581.805	2980.379	2943.9
5-6	6507.176	8968.728	722.609	609.219	1591.215	1242.776	562.445	577.133	1518.423	1744.654

Tabla No.27: Cortante Basal de la estructura convencional y aislada

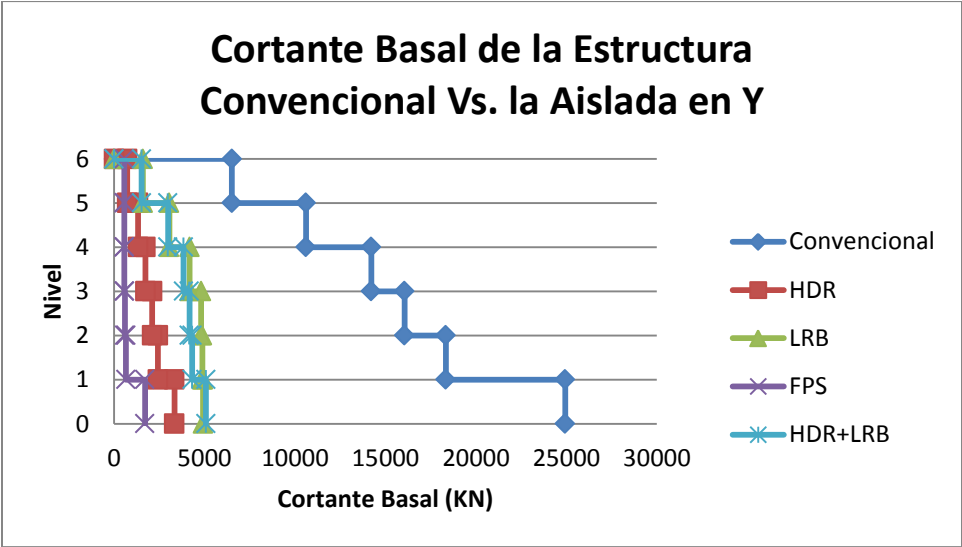


Figura No.40: Cortante Basal en X de la estructura convencional y aislada

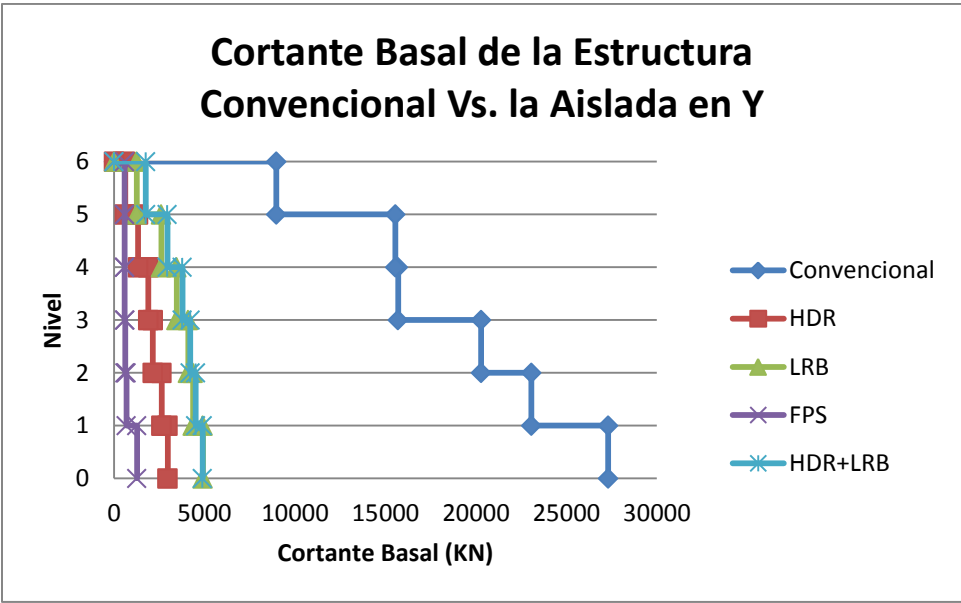


Figura No.41: Cortante Basal en Y de la estructura convencional y aislada



Figura No.42: Cortante Basal en X de los Sistemas Aislados

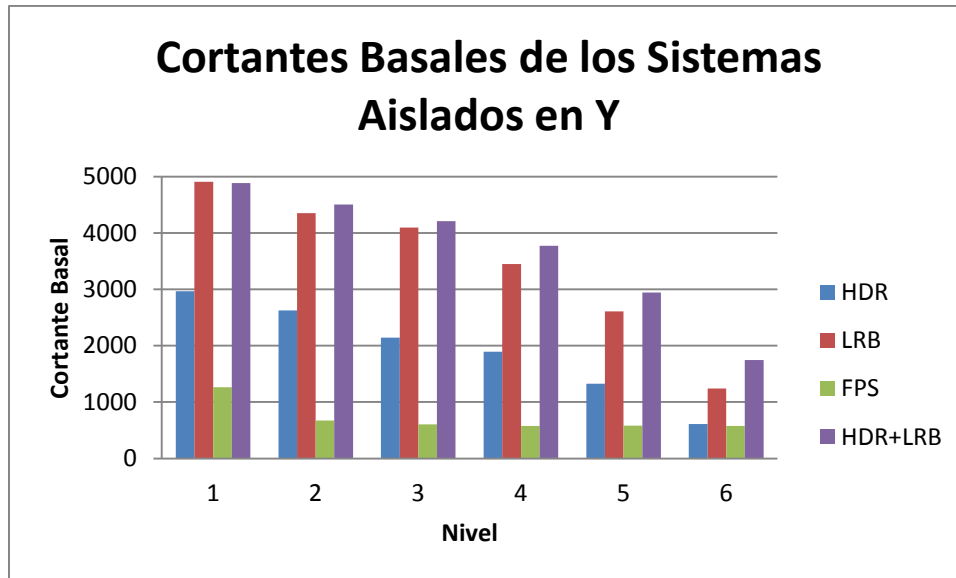


Figura No.43: Cortante Basal en Y de los Sistemas Aislados

En las tablas y graficas anteriores podemos notar una considerable reducción de los cortantes basales en la estructura con aisladores sísmicos, los menores valores de cortantes basales se dan en el sistema FPS presentando un mejor comportamiento que los demás aisladores con una reducción para todos los niveles entre el 91% y 97% en comparación a la estructura convencional , el segundo tipo de aislador que presenta menores cortantes basales es el aislador HDR con una reducción que varía entre 87% y 93%, el sistema LRB y el sistema mixto HDR+LRB presenta los mayores valores de Cortante Basal, presentándose una reducción entre el 70% y 80% para el sistema LRB y una reducción entre 72% y 82% para el sistema mixto HDR+LRB.

CONCLUSIONES

En base al esfuerzo y trabajo en equipo, y al tiempo prestado al estudio, se llegó al nivel de manejar y asimilar el diseño de los tipos de sistemas aisladores en estudio (HDR, LRB, FPS, HDR+LRB) haciendo uso de las normas internacionales como la ASCE7-10 y la NCH 2745 así como libros de gran prestigio como DESIGN OF SEISMIC ISOLATED, SEISMIC ISOLATION FOR DESIGNERS AND STRUCTURAL ENGINEERS entre otros que tratan con especial cuidado este tipo de diseño sísmico.

Con el diseño de los aisladores sísmicos en estudio se alcanzó determinar las propiedades físicas y mecánicas de los aisladores a través de un proceso iterativo, para el aislador HDR se obtuvo un diámetro de 0.70 m con una altura total de 0.23 m que corresponden a 17 capas de goma de 0.008m y 16 láminas de acero de 0.003 m con una rigidez horizontal de 1108.824, para el aislador LRB se obtuvo un diámetro de 0.70 m con una altura total de 0.19 m que corresponden a 11 capas de goma de 0.1m y 10 láminas de acero de 0.003 m con una rigidez horizontal de 1841.497 KN/m, para el sistema mixto los resultados fueron para el aislador HDR y LRB un diámetro de 0.70 m con una altura de 0.19 m que corresponden a 11 capas de goma de 0.1m y 10 láminas de acero de 0.003 m, con una rigidez horizontal para el aislador HDR de 1352.727 KN/m y una rigidez horizontal para el aislador LRB de 2126.537 KN/m para el aislador FPS la dimensión horizontal total resulto de 0.773 m con una altura total de 0.402 m y un diámetro del deslizador de 0.413m su rigidez horizontal resulto de 2231.932 KN/m,

Dentro del diseño de los aisladores se verificó que estos presentan un buen comportamiento ante el pandeo resultando un factor de seguridad mayor a 2 y también presentan buena estabilidad ante grandes desplazamientos laterales a través del desplazamiento critico el cual resulto mayor al desplazamiento de diseño que exige el reglamento del ASCE 7-10 así mismo se comprobó que las deformaciones angulares se encuentran dentro de los valores permisibles.

Con la ayuda de hojas de cálculo de Excel, se logró programar de manera ordenada y detallada el procedimiento de diseño de cada aislador en estudio, preparando el terreno a lo que concurriría a la realización del programa, familiarizándonos con todos los parámetros, propiedades y requerimientos que hay que considerar antes de programar en Visual Basic 2012.

Se adquirió el conocimiento y aprendizaje sobre el manejo y funcionamiento del programa Visual Basic 2012, estudiando y analizando cada uno de los principales componentes de la interfaz de dicho programa, sus funciones e importancia de estos a partir del empleo de la teoría y la práctica obtenidas con ayuda de videos tutoriales y páginas web.

El programa DAB V1.0 es una herramienta eficaz que nos permite obtener de manera sencilla y rápida las propiedades geométricas y mecánicas de los aisladores HDR, LRB, FPS y de un sistema mixto HDR+LRB; además tenemos la ventaja de verificar si los aisladores HDR y LRB presentan un buen comportamiento ante el Pandeo y ante grandes desplazamientos laterales y comprobar si las deformaciones en él se encuentran dentro de los valores admisibles.

Para poder diseñar con el programa DAB V1.0 se necesita previamente algunos datos que son obtenidos a partir del análisis de la estructura convencional en el sap2000, estos datos son: del peso total de la estructura y la carga máxima, además con el modelo convencional se determinan el número de aisladores que se colocaran en la base, en nuestro caso se utilizaron un total de 54 aisladores, por debajo del interfaz de aislación.

Hay que recalcar que dicho programa también está en dependencia de la información de algunos datos que ofrezcan casas comerciales de aisladores sísmicos, o si no dicha información se puede considerar de acuerdo a ensayos de laboratorios especializados, también se puede contar con la vasta experiencia de algunos expertos en el tema.

En busca de un mejor comportamiento y reducción de daños ante eventos sísmicos se tiene la idea de implementar aisladores sísmicos en la base de dicho edificio, del cual se analizaron tres tipos de sistemas HDR, LRB, FPS y un sistema Mixto HDR+LRB estos fueron escogidos gracias al buen desempeño que han tenido a nivel mundial y de los resultados positivos que han llegado a experimentar estos tipos de sistemas en la estructura en acciones sísmicas, amparados fuertemente en normas internacionales principalmente la norma ASCE7-10, donde se obtienen ciertos parámetros de diseño tales como las Aceleraciones Espectrales del Sitio, Desplazamientos de Diseño y Desplazamientos Máximo, Fuerzas Laterales Mínimas, entre otras. Aparte de eso se utilizaron las consideraciones de libros especializados en cuanto al cálculo de propiedades mecánicas.

El Análisis No lineal tiempo historia se aplicó a la estructura con aisladores en la base con la ayuda del programa sap2000 y es aquí donde se hace uso de los resultados que brinde el programa DAB V1.0, en este caso se toman en cuenta las propiedades mecánicas de los aisladores, tanto lineales como no lineales tales como: la Rigidez Vertical, la Rigidez efectiva, la Rigidez de pre-fluencia y la Fuerza de fluencia, estas propiedades fueron asignadas al aislador por medio del elemento Link/Support, incluido en el programa de análisis sap2000, además se aplicó el registro sísmico del terremoto de Managua en 1972, ya que este es considerado el más desfavorable del lugar y de esta manera observar el comportamiento de la estructura aislada ante este terremoto, y poder luego así establecer la comparación entre la estructura convencional y aislada. Para realizar la comparación se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: El Periodo, Desplazamientos relativos, Derivas de piso o drifts y el Cortante Basal.

Con respecto al periodo de la estructura con base fija y base aislada (HDR, LRB, HDR + LRB, FPS), se nota una considerable diferencia de los valores de periodos con sus respectivos modos de vibración, tomando en cuenta que el periodo de una estructura es el tiempo que esta toma en dar un ciclo completo, dependiendo de la magnitud de la fuerza sísmica que experimentara la estructura y haciendo un

análisis en base a sus tres primeros modos fundamentales de vibración, se llega al resultado que en la estructura aislada se alarga de forma eficiente el periodo de vibración trasladándolo de valores de 0.379665 seg.,(estructura con base fija), hasta valores de 2.698355 seg.,(estructura con base aislada), generando de esta manera la reducción de aceleraciones, fuerzas laterales y distorsiones de entrepiso manteniendo la superestructura como un bloque rígido. El aislador HDR presenta movimientos traslacionales en sus primeros dos modos de vibración, con una relación aproximada a 1.0, el periodo torsional correspondiente al tercer modo no difiere mucho de los periodos traslacionales teniendo una relación aproximadamente igual a 1.1 esto demuestra de la buena ubicación en planta de los aisladores.

Los Desplazamientos relativos de la estructura con aislación sísmica aumentan a medida que va aumentando la altura del edificio sin presentar mucha variación de un piso a otro , comportándose como un bloque rígido con pequeñas distorsiones de entrepiso los cuales se minimizan significativamente presentándose para el aislador FPS valores iguales a cero que indica que el desplazamiento en todos los niveles es constante, en los demás sistemas de aisladores llegan a presentarse reducciones de distorsión entre el 75% y 92%. Con respecto a las distorsiones de una estructura convencional esta presenta mayores valores en comparación a una estructura aislada, esto se demuestra por el cambio de forma de la estructura convencional en donde presenta un cambio de forma de un rectángulo a un paralelogramo lo cual indica que el edificio presenta deformaciones considerables, , por lo tanto esto quiere decir que con la implantación de los aisladores sísmicos en la base los daños estructurales y no estructurales se reducirán ante la ocurrencia de un sismo brindando seguridad a las personas que estén dentro del edificio.

Las Aceleraciones absolutas por piso de la estructura aislada son muy inferiores al de la estructura convencional siendo el aislador FPS el que presenta mayores porcentajes de reducción alcanzando excesivamente un 99% esto es debido a que

este tipo de sistema de aislación brinda a la estructura un mayor amortiguamiento comparado al de los demás sistemas.

Los cortantes basales por piso de la estructura aislada resultaron mucho menores en comparación a de la estructura convencional, llegando a reducirse hasta un 97% demostrando una vez más el buen comportamiento que experimenta la estructura aislada ante un sismo, además esta reducción nos garantiza menores esfuerzos en los elementos principales el cual conlleva a una minimización en las dimensiones de estos.

Haciendo una generalización en la comparación de la estructura convencional con la estructura aislada, se puede decir que el aislador que mejor se comporta ante el sismo aplicado es el aislador FPS, ya que presenta los menores valores de desplazamientos, derivas de piso, aceleraciones absolutas y cortantes basales, dejando al descubierto su eficacia como aislador.

El buen comportamiento que experimenta la estructura con aislación sísmica conlleva a la reducción de esfuerzos cortantes que a la vez produce la reducción en las dimensiones de los elementos estructurales, disminución en el acero de refuerzo y volumen del concreto esto se traduce a un ahorro económico en el diseño y construcción de la estructura.

RECOMENDACIONES.

Se invita a estudiantes e ingenieros en desarrollar una nueva versión del programa DAB V1.0 para de esta manera enriquecer el principal objetivo de dicho programa que es el diseño de aisladores en la base.

Conociendo la efectividad que tienen los aisladores sísmicos en otros países, en Nicaragua siendo un país sísmico se debería de comenzar a estudiar más a fondo acerca de la posibilidad de utilizar estos tipos de sistema, a través de investigaciones geológicas, sísmicas, estructurales entre otras para así poder determinar si es viable y rentable la implementación de estos en las estructuras ya sea existentes como las que están por construirse.

Tener un especial cuidado en la participación modal de las estructuras ya que de ésta depende el éxito de su vibración. Las derivas de piso y demás requerimientos estructurales deben cumplirse con holgura para un mejor desempeño de los edificios y las estructuras en general.

Impulsar a ingenieros profesionales del país en la elaboración de un documento en el cual se tomen en cuenta todas las consideraciones sobre el análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos, así como otros tipos de sistemas de protección sísmica tales como disipadores de energía, masa sintonizada y aisladores de doble y triple péndulo friccional.

Tratar de que este tipo de investigaciones se generalicen en el país, motivando la utilización de los mismos para poderlo aplicar en las edificaciones, ya que este sistema es muy aplicado en muchos países del mundo, por su gran efectividad. Con investigación y esfuerzo podremos en un futuro; incorporar poco a poco esta tecnología de aislamiento en estructuras nuevas y que verdaderamente necesiten la incorporación de aisladores como podrían ser hospitales, puentes, centrales de emergencia, etc.

BIBLIOGRAFIA

- ASCE7-10
- ARRIAGADA ROSAS, JAIME ANDRES. AISLACION SISMICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS DE SIETE PISOS (ANALISIS COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO Y COSTOS CON UN EDIFICIO CONVENCIONAL)
- BOROSCHECK, RUBEN. AISLACION SISMICA DE EDIFICIOS.
- E. KELLY, TREVOR. DESIGN GUIDELINES.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER)
- KORSWAGEN EGUREN, PAUL ALEXANDER; Y ARIAS RICSE, JULIO CESAR. ANALISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SISMICOS EN EL PERU.
- NAEIM. F; Y KELLY, J.M. DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES FROM THEORY TO PRACTICE.
- NCH-2745-2013 NORMA CHILENA
- R. IVAN SKINEER, T.KELLY Y B.ROBINSON SEISMIC ISOLATION FOR DESIGNERS AND STRUCTURAL ENGINEERS.
- SAAVEDRA QUEZADA, MARCELO ANDRES. ANALISIS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SISMICOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS.
- SALINAS BALDIZON, EDUARDO MANUEL; Y TORRES ESPINOZA MAYNOR ORESTES. ESTUDIO COMPARATIVO TECNICO-ECONOMICO SOBRE EL USO DE AISLAMIENTO SISMICO EN LA BASE.
- [HTTP://VISUALBASICV6.BLOGSPOT.COM/2009/03/CARACTERISTICAS-GENERALES-DE-VISUAL.HTML](http://VISUALBASICV6.BLOGSPOT.COM/2009/03/CARACTERISTICAS-GENERALES-DE-VISUAL.HTML).
- [HTTP://PEER.BERKELEY.EDU/NGAWEST2/DATABASES/](http://PEER.BERKELEY.EDU/NGAWEST2/DATABASES/)
- [HTTP://NGAWEST2.BERKELEY.EDU/SPECTRAS/25227/SEARCHES/19397/EDIT](http://NGAWEST2.BERKELEY.EDU/SPECTRAS/25227/SEARCHES/19397/EDIT).

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) KORSWAGEN EGUREN, PAUL ALEXANDER; Y ARIAS RICSE, JULIO CESAR. ANALISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SISMICOS EN EL PERU. LIMA, 2012, P. 3-6.
- (2) [HTTP://VISUALBASICV6.BLOGSPOT.COM/2009/03/CARACTERISTICAS-GENERALES-DE-VISUAL.HTML](http://visualbasicv6.blogspot.com/2009/03/caracteristicas-generales-de-visual.html).
- (3) ARRIAGADA ROSAS, JAIME ANDRES. AISLACION SISMICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS DE SIETE PISOS (ANALISIS COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO Y COSTOS CON UN EDIFICIO CONVENCIONAL). VALDIVIA, CHILE, 2005, P. 11-12.
- (4) SAAVEDRA QUEZADA, MARCELO ANDRES. ANALISIS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SISMICOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS. VALDIVIA, CHILE, 2005, P. 3.
- (5) E. KELLY, TREVOR. DESIGN GUIDELINES. JULY, 2001, P. 1
- (6) SAAVEDRA QUEZADA, MARCELO ANDRES. ANALISIS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SISMICOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS SIMPLIFICADOS. VALDIVIA, CHILE, 2005, P. 3-4.
- (7) ARRIAGADA ROSAS, JAIME ANDRES. AISLACION SISMICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS DE SIETE PISOS (ANALISIS COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO Y COSTOS CON UN EDIFICIO CONVENCIONAL). VALDIVIA, CHILE, 2005, P. 12-13.
- (8) ARRIAGADA ROSAS, JAIME ANDRES. AISLACION SISMICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS DE SIETE PISOS (ANALISIS COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO Y COSTOS CON UN EDIFICIO CONVENCIONAL). VALDIVIA, CHILE, 2005, P. 199-203.
- (9) NAEIM. F; Y KELLY, J.M. DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES FROM THEORY TO PRACTICE. USA, 1999, P.93-105.
- (10) BOROSCHECK, RUBEN. AISLACION SISMICA DE EDIFICIOS. CHILE, 2001, DOCUMENTO.
- (11) [HTTP://PEER.BERKELEY.EDU/NGAWEST2/DATABASES](http://peer.berkeley.edu/ngawest2/databases).

(12) [HTTP://NGAWEST2.BERKELEY.EDU/SPECTRAS/25227/SEARCHES/19397/EDIT](http://NGAWEST2.BERKELEY.EDU/SPECTRAS/25227/SEARCHES/19397/EDIT).

ANEXOS

ANEXO A. DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DAB V1.0

A.1. ELEMENTOS GENERALES DE LA INTERFAZ DE USUARIO A CONSIDERAR EN EL PROGRAMA.

1. FORMULARIOS DE TRABAJO

Los formularios de trabajo es donde se colocan todos los componentes de uso para la creación de un programa. En el formulario se encuentran diferentes tipos de controles de la paleta de herramientas, los cuales han sido insertados en el formulario, dependiendo de la colocación de los controles en el formulario dan lugar a la creación de cualquier tipo de programa.

Los formularios al igual que los controles, tienen lo que se llaman propiedades, las cuales pueden alterar el estado del formulario, desde su color de fondo hasta el borde del formulario, las propiedades que se modificaron de los formularios son:

Name: Indica el nombre del formulario, a través de éste nombre hacemos referencia a sus propiedades y contenido en tiempo de ejecución.

BackColor: Propiedad para cambiar el color de fondo del formulario.

BorderStyle: Propiedad para determinar el tipo de borde del Formulario.

ControlBox: Propiedad para eliminar los controles de la parte superior derecha del formulario, los que permiten minimizar, maximizar o cerrar un formulario.

Text: Texto que se le dará al control colocado en el formulario.

Enabled: Propiedad que activa o inactiva el formulario, un formulario inactivo no hace nada

Font: Propiedades para el manejo del tipo de fuente.

ForeColor: Propiedad para el color del enrejado en tiempo de diseño.

Height: Propiedad para la altura del formulario.

Icon: Propiedad para asignar un icono al formulario.

MaxButton, MinButton: Propiedades para ver los iconos de maximizar y minimizar.

StartPosition: Determina la posición del formulario cuando aparece por primera vez.

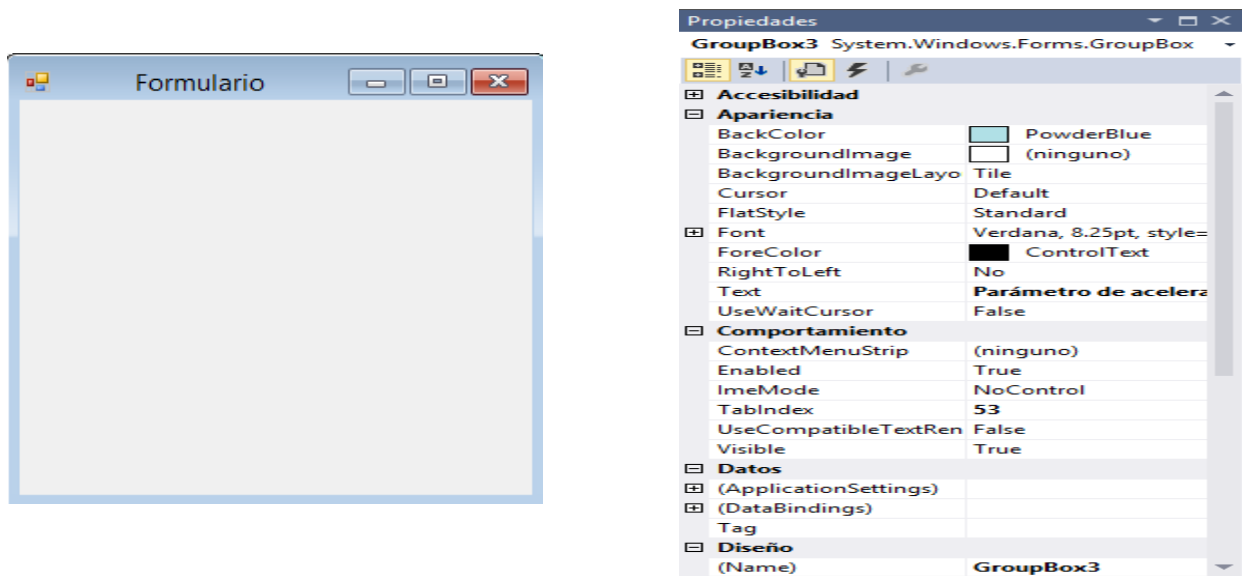
BackgroundImage: Propiedad para poner una fotografía de fondo del formulario.

Visible: Propiedad que permite que el formulario sea visible o no.

WindowState: Propiedad para determinar cómo se verá el formulario, maximizado, normal o minimizado.

AutoSize: Especifica si un control cambiara automáticamente de tamaño para ajustarse a su contenido.

La forma típica de un formulario es como aparece en la siguiente figura
















Figuras A1.1 y A1.2: Formulario Y Propiedades De Un Formulario

2. CUADRO DE HERRAMIENTAS DE CONTROLES

El Cuadro de herramientas muestra iconos para controles y otros elementos que se pueden agregar a proyectos de Visual Studio.

Los Componentes o controles del cuadro de herramientas que se utilizaron para la creación del programa son:

-  Label: Sirve para poder poner mensajes o textos en la pantalla, pero no son editables por el usuario.
-  Button: Permite al usuario hacer clic en él para llevar a cabo una determinada acción.
-  TextBox: Permite que el usuario pueda escribir directamente en una caja de texto:
-  ComboBox: Es una caja combinada que permite tener varias opciones de las cuales seleccionar y ver una.
-  PictureBox: Permite incluir imágenes como fotografías, dibujos, etc.
-  ProgressBar: Muestra una barra que se va completando para indicar al usuario el progreso de una operación
-  Timer: Componente que genera un evento a intervalos definidos por el usuario.
-  LinkLabel: Permite agregar vínculos de estilo Web a aplicaciones de Windows Forms, también tiene la función de abrir archivos desde cualquier ruta específica.
-  GroupBox: Se utiliza para proporcionar un agrupamiento identificable para otros controles. Normalmente, los cuadros de grupo se utilizan para subdividir un formulario por funciones.

-  Panel: Se utiliza para proporcionar un agrupamiento identificable para otros controles. Normalmente, los paneles se utilizan para subdividir un formulario por funciones.
-  Menú Strip: Muestra los comandos y las opciones de aplicación agrupados por funcionalidad.
-  RichTextBox: Proporciona una entrada de Texto y característica de edición avanzada como el formato de párrafos y de caracteres.
-  DataGridView: Muestra filas y columnas de datos en una cuadrícula que se puede personalizar.

La forma típica de un cuadro de herramientas es como aparece en la siguiente figura:

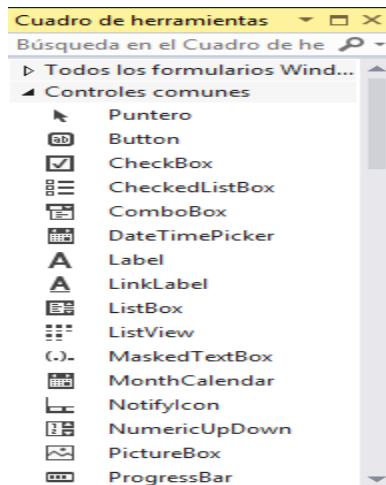


Figura A1.3: Cuadro de herramientas de los proyectos.

3. Eventos

Un evento es una señal que comunica a una aplicación que ha sucedido algo importante. Por ejemplo, cuando un usuario hace click en un control de un formulario, el formulario puede provocar un evento Click y llamar a un procedimiento que controla el evento. Los eventos también permiten que las

tareas separadas se comuniquen. Suponga, por ejemplo, que una aplicación realiza una tarea de ordenación independientemente de la aplicación principal. Si un usuario cancela la ordenación, la aplicación puede enviar un evento de cancelación que ordene la detención del proceso de ordenación.

Los eventos utilizados para realizar el programa son:

Click: Es el evento más utilizado en el programa con este podemos controlar cuando se pulsa el botón izquierdo del ratón.

Timer_Tick: Se produce cuando ha transcurrido el intervalo del temporizador especificado y está habilitado el temporizador.

Load: Con este evento podemos controlar cuando se carga en memoria.

4. Ventana de Código:

La ventana Definición de código es una vista del editor de sólo lectura que muestra la definición de un símbolo en un archivo de código almacenado en el proyecto activo o al que se hace referencia en el proyecto activo.

Todas las instrucciones de código escritas por el propio programador, están definidas dentro de la ventana de código, cuyo aspecto es el siguiente:

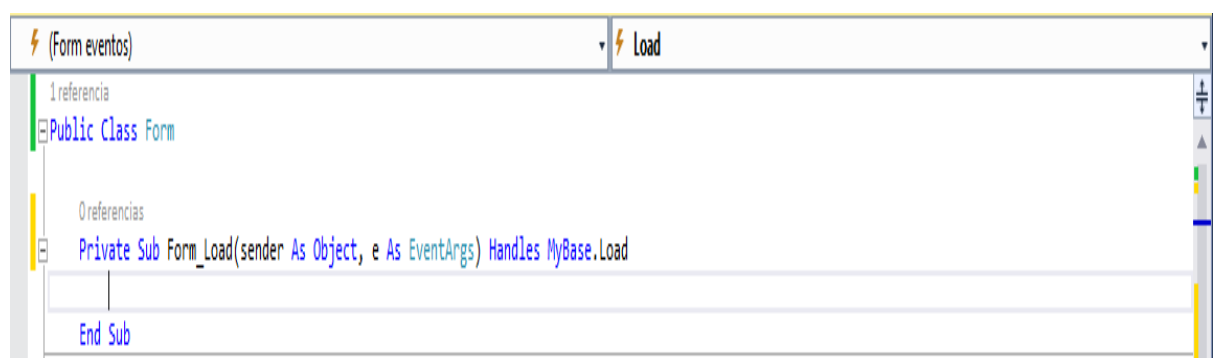


Figura A1.4: Ventana de códigos.

En ésta ventana veremos todas las líneas de código del programa, los procedimientos, etc.

Cada uno de los procedimientos viene indicado por su comienzo Private Sub..., la cláusula Handles y por el final la instrucción End Sub.

Además en la parte superior de la ventana se puede ver a que evento hace referencia y de que control se refiere, puede ver Form, que indica que es del Formulario y Load que indica el procedimiento al cual se está haciendo referencia en las líneas de código que se están escribiendo.

Desarrollo del Programa:

Antes de comenzar a programar en Visual Studio primeramente adquirimos el conocimiento de la programación tanto de la teoría como de la práctica a través de ejemplos de videos tutoriales, libros, páginas web etc. además se estudió y analizo el diseño de los aisladores sísmicos con la ayuda de reglamentos, documentos y libros internacionales siendo este el objetivo principal de la realización del programa, luego de adquirir estos conocimientos se realizaron Hojas de Cálculo en Excel referente al diseño de aisladores sísmicos considerando los requerimientos contemplados en la norma ASCE7-10 y a las formulas y procedimientos sacadas de libros y documentos de tesis referente al área de sistema de aislación sísmica, esto con el fin de tener una idea del funcionamiento y utilidad del programa.

El Programa fue hecho a base de una serie de formularios en donde fueron modificadas sus propiedades tales como el tamaño, el color de fondo, los bordes, la fuente de texto, la posición, el icono, etc. en la mayoría de los formularios se colocó el control Panel que es un contenedor en donde se agrupan otros controles como es el caso de los Labels los cuales son agregados con el fin de indicar el nombre de datos, de propiedades, de parámetros, mensajes, etc. es decir todo lo referente a texto en la pantalla, también en dicho panel esta contenido el control TextBox el cual se utiliza para introducir datos, y además mostrar algún resultado obtenido dentro del programa, otro control que se utilizo es el Button, que por

medio del evento click tiene la funcionalidad de generar algún resultado, abrir una ventana, borrar datos, ingresar tablas, esquema, etc. este es el control más utilizado a partir del cual se generaran los códigos a través de las instrucciones y operadores.

Existen dos tipos de instrucciones: las instrucciones de declaración que son las que contienen, palabras claves, constantes y variables, las que más se utilizaron al momento de programar fueron: Sub y Dim junto con las palabras claves tales como, Integer, String y New, el otro tipo de instrucción son las ejecutables el cual realiza una acción y llama a un procedimiento, entre las que se utilizaron al programar están: If, Then, Else que juntos forman una estructura de control para ejecutar diferentes bloques de código basándose en el valor de una variable.

Los Operadores que se utilizaron para realizar una operación en uno o más elementos de código que contienen valores son:

Operadores aritméticos: +, -, *, /, y ^

Operadores de comparación: =, <, >, <=, >=

Se utilizó el control ComboBox el cual nos permite seleccionar una opción cuando tenemos varias alternativas de alguna propiedad o de alguna clasificación, también se utilizó el control Menu Strip esto con el propósito de crear un menú en la parte superior de la ventana con distintas opciones las cuales cumplen con una determinada función, dentro del control Panel se agregó el control GroupBox esto con el fin de dividir dentro de un mismo formulario temas distintos.

En algunos formularios se asignó el control ProgressBar el cual trabaja en conjunto con el control timer, el ProgressBar se trata de una barra que se va completando con cierto intervalo de tiempo el cual es generado con el control timer y se utiliza para cargar el programa, para cargar tablas creadas a partir de un DataGridView y esquemas que se crean a través del control PictureBox, se empleó el control RichTextBox con el fin de escribir mensajes importantes dentro del formulario, el control LinkLabel se utilizó con el objetivo de abrir desde el

programa algún documento, libro etc. también se utilizó en algunas ocasiones para abrir otro formulario.

Se utilizó la Funcion Shell cuyo objetivo es permitir que se abran los documentos pdf desde el programa a partir de una ruta en específica, por ejemplo: *Shell("explorer.exe root = C:\Users\PROGRAMADEAISLADORES\PDF\Desarrollo y Funcionamiento del Programa.pdf", vbNormalFocus)* .

Funcionamiento del programa:

DAB (DISEÑO DE AISLACION BASA) es un programa que tiene como objetivo principal calcular las propiedades geométricas, físicas y mecánicas de tres tipos de aisladores: Los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR), Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), Los aisladores de péndulo friccionante (FPS), además este programa tiene la funcionalidad de Diseñar un sistema de aisladores combinados como es el caso de la combinación de aisladores HDR y LRB.

Dentro de las funciones importantes que tiene el programa está la representación geométrica del aislador mediante un esquema que nos brinda el programa una vez realizado todo el procedimiento del diseño, además de esto DAB V1.0 nos brinda un informe final de las características más importantes de los aisladores y también nos permite generar un documento en PDF en donde se muestra todo el procedimiento del diseño con sus respectivas formulas y resultados.

A continuación se presenta una guía acerca del funcionamiento del programa:

- **Formulario Inicial**

Cuando el programa comienza a cargarse se mostrara el siguiente formulario, el cual presenta una imagen en el fondo de un aislador sísmico con el nombre del programa, además se muestra el control ProgressBar que es la barra el cual indica el progreso de carga del programa.



Figura A1.5: Progreso de carga del programa.

Cuando el programa termine de cargar aparecerá el siguiente mensaje:

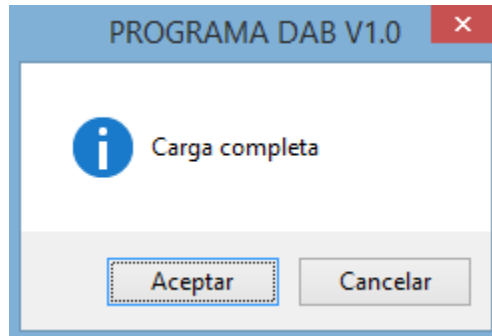


Figura A1.6: indicador de carga completa.

Finalmente damos click en Aceptar para abrir la ventana del menú principal.

- **Menú Principal:**

En esta ventana encontraremos una barra de menú el cual se agregó a través de un Menu Strip en donde habrán seis pestañas, la primera pestaña se refiere a los tipos de aisladores que se podrán diseñar los cuales son aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR), aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), aisladores friccionales (FPS), y aisladores combinados (HDR+LRB), para cada tipo de aislador se desplegará una opción llamada "Características Generales" con el cual se iniciará el diseño geométrico, dinámico y mecánico de los aisladores, en la segunda, tercera y cuarta pestaña encontraremos importantes

parámetros de diseño , que son: los desplazamientos máximos, las fuerzas laterales mínimas, el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo, en la quinta opción tendremos el cálculo de las deformaciones máximas presentes en los aisladores HDR y LRB, en la sexta pestaña se desplegarán ejemplos de diseños para cada tipo de aislador los cuales servirán como una guía del procedimiento utilizado en el programa.

También encontraremos información acerca del objetivo principal del programa, una guía la cual se refiere al desarrollo y funcionamiento del mismo y algunos documentos importantes como el ASCE7-10. Dentro de esta misma ventana se seleccionaran las unidades con las que se realizara el diseño de cualquier tipo de aislador.



Figura A1.7: Ventana principal del programa DAB V1.0.

En la parte inferior del Menu Principal se agregó un Label con el nombre “Unidades” y un Combo box en donde se debe seleccionar primeramente las unidades con las que se trabajara para poder proceder al diseño de cualquier tipo de aislador, si no se hace previamente esto se mostrara el siguiente mensaje de error.

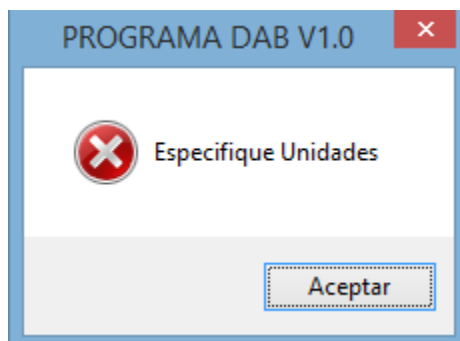


Figura A1.8: Indicador de error al no introducir sistema de unidades.

Debe existir un orden al momento de diseñar cualquier tipo de aislador, primeramente se realiza el cálculo de las características generales del aislador para así proceder al cálculo del desplazamiento máximo, luego se calculan los parámetros de diseño que son las fuerzas laterales mínimas y los desplazamientos totales del sistema y finalmente se calculan las deformaciones angulares máximas. Si no se sigue este orden el programa mostrara los siguientes mensajes de error.

- Para el cálculo de los Desplazamientos Máximos:

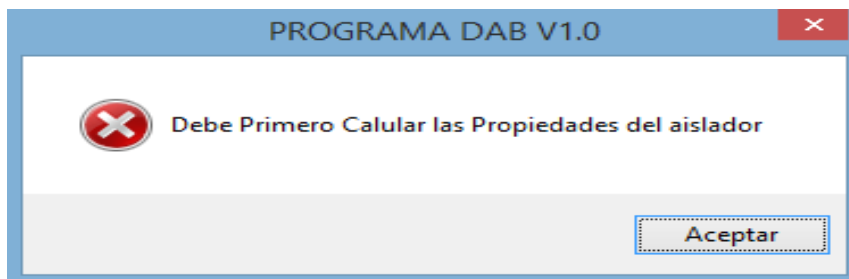


Figura A1.9: Indicador de error al no calcular antes las propiedades del aislador”.

- Para el cálculo de los Desplazamientos Totales de Diseño y Máximo.

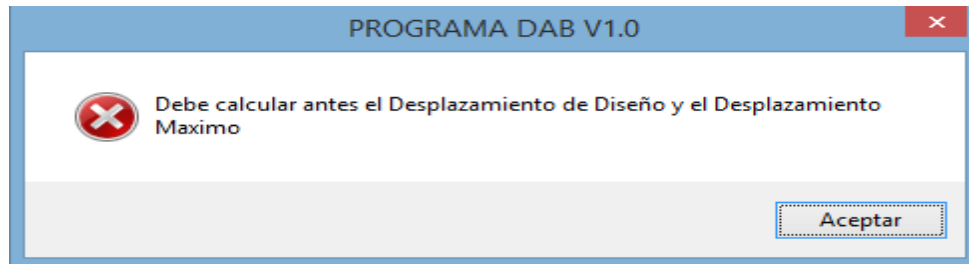


Figura A1.10: Indicador de error al no calcular antes las propiedades del aislador y los desplazamientos máximos.

- Para el cálculo de las Deformaciones Angulares

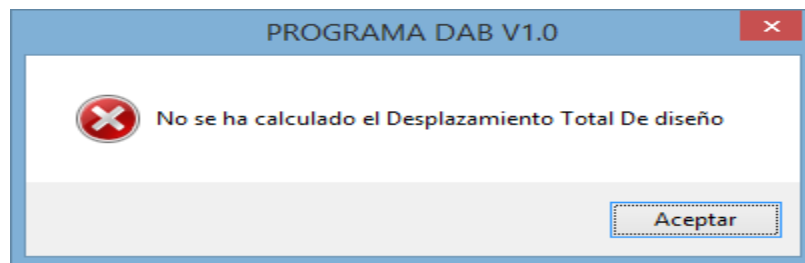


Figura A1.11: Indicador de error, al no calcular antes el Desplazamiento Total de Diseño.

- **Datos de Entrada:**

Al seleccionar la opción “Características Generales del Aislador” del Menú Principal se abrirá una ventana en donde se especificaran los datos de entrada para el diseño del aislador, el nombre de cada dato corresponde a un Label, en los TextBox que se pueden observar en la imagen se introducirán los valores de dichos datos, en esta misma ventana aparecen dos opciones las cuales fueron agregadas a través de un Menu Strip, la primera opción tiene como funcionalidad de convertir las unidades con las que se está trabajando y la segunda opción se refiere a la ayuda el cual nos indica de donde provienen dichos datos de entrada, una vez finalizado la introducción de datos damos click en el botón Aceptar para pasar al formulario siguiente, si deseamos borrar todos los datos de entrada que se introdujeron simplemente damos click en el botón Borrar, podemos observar que en la parte inferior del formulario se ha dejado un Label con el nombre de

“Unidades” y un Textbox en donde se mostrara las unidades con las que se está trabajando, esto lo encontraremos en la mayoría de los formularios que veremos a continuación.

Datos de Entrada para el aislador HDR:

Figura A1.12.: Datos de entrada para el aislador HDR.

Datos de Entrada para el Aislador LRB:

Figura A1.13: Datos de entrada para el aislador LRB

Datos de Entrada para el Aislador FPS:

Figura A1.14: Datos de entrada para el aislador FPS.

Datos de Entrada para los Aisladores Combinados HDR+LRB:

Figura A1.15: Datos de Entrada para los Aisladores Combinados HDR+LRB.

Nota: Se debe introducir todos los datos de entrada para poder continuar con el diseño del aislador, si no se mostrara el siguiente mensaje de error.

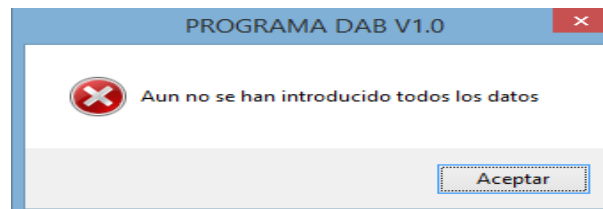


Figura A1.16: Indicador de error cuando no se han introducido todos los datos.

- **Aceleración Espectral**

Luego de introducir los datos de entrada damos clic en la opción Aceptar y se abrirá la ventana en donde se calculara la aceleración espectral según la norma ASCE 7-10, para realizar este cálculo primeramente se selecciona a través de un ComboBox el tipo de suelo descrito en la tabla 20.3.1 del ASCE 7-10 haciendo previamente una equivalencia con respecto a las velocidades de onda del tipo de suelo del RNC con las contempladas en el ASCE7-10, luego se introduce en un TextBox la aceleración mapeada para periodos cortos y para periodos de 1 seg. los cuales están descritos en las figuras del capítulo 22 del ASCE 7-10 (figura 22.1-22.14), para el caso de Managua se toman los datos de la Tabla 3.13 del Informe Final de Evaluación Regional de la Amenaza Sísmica en Centro América (UPM, 2008) para un periodo de retorno de 2500 años (probabilidad 2% en 50 años). Finalmente se hace clic en la opción Calcular Aceleración y nos aparecerán los resultados correspondientes a la aceleración espectral para periodos cortos y para periodos de 1 segundo, después hacemos click en Aceptar para continuar con la ventana siguiente.

Para entender mejor de donde provienen los datos introducidos y los datos obtenidos se agregó un Link de “Ayuda” en donde se indica paso a paso el procedimiento de la aceleración espectral.

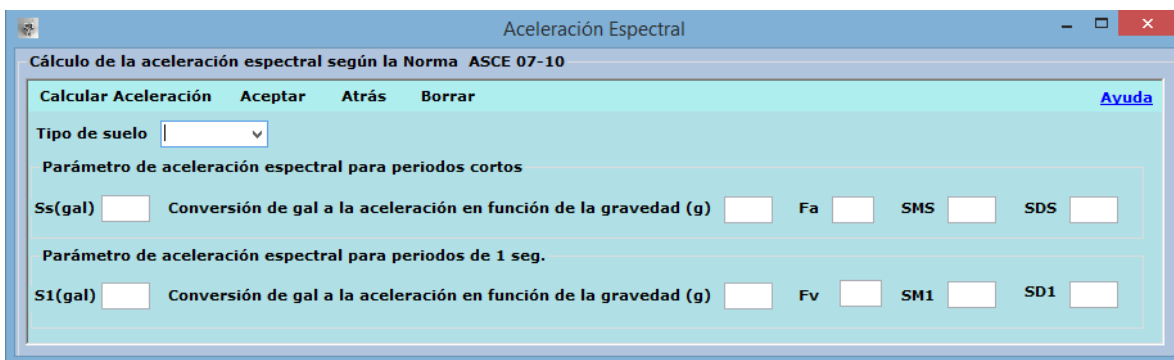


Figura A1.17: Calculo de las aceleraciones espectrales.

Nota: Este cálculo se hará para todos los tipos de aisladores:

- **Diseño del aislador**

HDR:

➤ Después de realizar el cálculo de la aceleración espectral, se calculan las propiedades del aislador dando clic en el opción Calcular y de esta forma se mostraran los resultados en cada Textbox que aparecen dentro del formulario, luego hacemos clic en la opción Propiedades de Modelación Bilineal para continuar con el diseño.

Para poder comprender como se obtienen todos los resultados damos click en el Link de ayuda y encontraremos el procedimiento de cálculo y un ejemplo de diseño.

Figura A1.18: Calculo de las propiedades del aislador HDR.

Nota: Al momento de estar dentro de una ventana para realizar cualquier tipo de cálculo no se podrá acceder a la siguiente sin antes haber realizado el cálculo correspondiente mostrando así el siguiente mensaje de error.

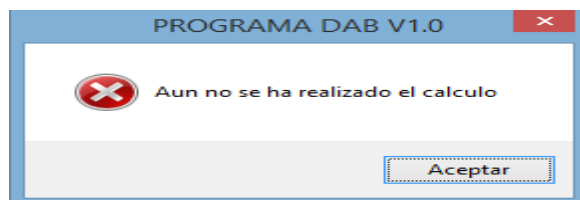


Figura A1.19: Indicador de error al querer pasar al formulario siguiente sin haber realizado antes los cálculos correspondientes.

➤ A continuación se obtienen las propiedades de modelación bilineal dando click en la opción Calcular y posteriormente click en la opción Verificación al Pandeo, para abrir la ventana siguiente. Estas Propiedades son las que caracterizan el comportamiento dinámico del aislador, algunas de estas propiedades serán asignadas al programa sap2000, primeramente se ingresaran las propiedades direccionales lineales como lo es la Rigidez vertical y el amortiguamiento efectivo luego se ingresaran las propiedades direccionales no lineales como la rigidez efectiva, la rigidez de pre-fluencia y la fuerza de fluencia.

Parámetros	
Rigidez Horizontal del aislador	Rigidez post-fluencia
Rigidez Horizontal del sistema	Rigidez de pre-fluencia
Energía Disipada	Fuerza de fluencia
Deformación elástica	Relación rigidez post-fluencia/rigidez pre-fluencia
Capacidad a cero deformación	Periodo de Diseño
Unidades	

Figura A1.20: Propiedades para la modelación bilineal del aislador HDR.

➤ Una vez abierta la ventana de Verificación al Pandeo hacemos click en la opción Calcular para definir el coeficiente de seguridad al pandeo sin considerar desplazamientos laterales el cual debe ser mayor a 2, además se determina la Influencia de la carga vertical en la rigidez horizontal dando como resultado una

rigidez horizontal reducida y un desplazamiento hacia abajo, luego hacemos click en la opción Aceptar, para abrir la ventana siguiente.

Verificación del Pandeo

Calcular Aceptar Atrás Borrar Ayuda

-Coeficiente de seguridad de pandeo

Inercia del aislador

Carga de Pandeo del aislador

Área de cortante efectiva

Rigidez de cortante efectiva

Carga critica

Coeficiente de seguridad de pandeo

-Influencia de la carga Vertical en la Rigidez Horizontal

Rigidez Horizontal Reducida

Desplazamiento hacia abajo

Unidades

Figura A1.21: Propiedades para la modelación bilineal del aislador HDR.

➤ Luego de haber determinado el Pandeo sin desplazamiento lateral se define la Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales que es otra de las verificaciones que se hace para comprobar que el aislador presenta un buen comportamiento, en este caso el principal elemento a considerar es el desplazamiento critico el cual debe ser mayor al desplazamiento que exige el reglamento para que de esta manera comprobar que el aislador presenta una buena estabilidad ante grandes desplazamientos laterales, para el cálculo de este desplazamiento se consideró previamente un desplazamiento normalizado dada una carga máxima y una carga critica, además se toma en consideración algunos parámetros adicionales como lo son el ángulo, el área normalizada y el área reducida que se originan una vez que el aislador haya alcanzado un desplazamiento crítico.

Estabilidad ante grandes desplazamientos Laterales

Calcular Resumen de Propiedades Atrás Menú Principal Borrar Ayuda

Estabilidad ante grandes desplazamiento Laterales

Carga máxima aplicada sobre el aislador

Carga critica de pandeo sin desplazamiento lateral

Desplazamiento lateral admisible (normalizado) d

Desplazamiento critico

Angulo medio subtendido al centro de la intersección del círculo superior e inferior

Angulo convertido a radianes

Área (Normalizada) a

Área Reducia

Unidades

Figura A.1.22: Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales del aislador HDR.

- Finalmente se presenta un resumen de las propiedades más esenciales del aislador, para obtener este resumen se hace click en “Insertar Tabla y Esquema” y se cargara a través de un ProgressBar y un Timer la tabla de las propiedades más importantes la cual fue creada por medio de un DataGridView.
- Además se mostrará a través de un PictureBox el esquema del aislador en esta misma ventana aparece la opción “Generar Documento” que sirve para crear un documento en pdf con todo el procedimiento de cálculo del aislador, sus fórmulas y resultados, también aparece la opción “Generar Reporte” que sirve para crear un documento en pdf donde se mostrara la Tabla de Propiedades del Aislador.

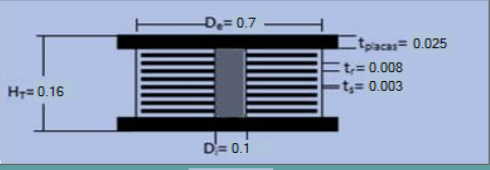
PROPIEDADES DEL AISLADOR HDR

Insertar Tabla y Esquema Generar Reporte Generar Documento Atrás Menú Principal

PROPIEDADES DEL AISLADOR HDR

Diámetro a utilizar	0.7
Diámetro inicial	0.1
Altura total del aislador	0.16
Altura del caucho	0.08
Espesor propuesto de cada capa de goma	0.008
Número de capas de caucho	10
Espesor propuesto de las láminas de acero	0.003
Número de láminas de acero	9
Módulo de rigidez a cortante	400
Rigidez vertical	2544750
Rigidez Horizontal del aislador	1885
Rigidez de pre-fluencia	93851.503
Fuerza de fluencia	750.812

Unidades



Esquema

Figura A1.23: Propiedades del aislador HDR con su esquema.

LRB:

➤ Después de realizar el cálculo de la aceleración espectral, se calculan las propiedades del aislador LRB dando click en Calcular, y finalmente click en Aceptar para continuar con el diseño.

Propiedades Mecánicas

Calcular Aceptar Atrás Borrar Ayuda

Características Mecánicas del Aislador LRB

Coefficiente de Amortiguamiento	<input type="text"/>
Desplazamiento de Diseño	<input type="text"/>
Rigidez Horizontal del Sistema	<input type="text"/>
Rigidez Horizontal para un aislador	<input type="text"/>
Energía disipada por ciclo	<input type="text"/>
Fuerza Característica Preliminar	<input type="text"/>
Rigidez Post-Fluencia del sistema	<input type="text"/>
Desplazamiento de Fluencia	<input type="text"/>
Corrección de la Fuerza Característica	<input type="text"/>

Unidades

Figura A1.24.: Propiedades mecánicas del LRB.

- A continuación se procede a calcular las Propiedades del Núcleo de Plomo dando click en calcular y luego click en Aceptar.

Figura A1.25: Propiedades del núcleo de plomo del LRB.

- Luego se corrigen las Propiedades Mecánicas del Aislador y se calculan sus dimensiones dando click en Calcular y luego click en Verificación al pandeo.

Figura A1.26: Corrección de las propiedades mecánicas del LRB.

➤ Click en el botón Calcular para determinar el coeficiente de seguridad de pandeo y la influencia de la carga vertical en la rigidez horizontal, luego hacemos click en Aceptar, para abrir la ventana siguiente.

Figura A1.27: Verificación del pandeo del LRB.

➤ Luego de haber determinado el Pandeo sin desplazamiento lateral se define la Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales en el cual el desplazamiento critico no debe ser menor al desplazamiento de diseño establecido por la norma ASCE7-10, luego hacemos click en la opción “Resumen de Propiedades” para abrir la ventana siguiente.

Figura A1.28: Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales y estiramiento del LRB.

➤ Finalmente como en el caso del HDR se presenta un resumen de las propiedades más esenciales del aislador.



Figura A1.29: Propiedades del aislador LRB con su esquema.

FPS:

➤ Después de realizar el cálculo de la aceleración espectral, se calculan las propiedades del aislador FPS dando click en Calcular, y finalmente click en Aceptar para continuar con el diseño.

Propiedades Mecánicas

Calcular Desplazamiento Total Máximo Atrás Borrar Ayuda

Propiedades Mecánicas del Aislador			
Coefficiente de Amortiguamiento	<input type="text"/>	Rigidez Post-fluencia del sistema	<input type="text"/>
Desplazamiento de Diseño	<input type="text"/>	Rigidez de Post-fluencia de cada aislador	<input type="text"/>
Desplazamiento Máximo	<input type="text"/>	Rigidez de pre-fluencia de cada aislador	<input type="text"/>
Rigidez Horizontal Total	<input type="text"/>	Fuerza de Activación del Sistema	<input type="text"/>
Rigidez Horizontal de cada aislador	<input type="text"/>	Fuerza de Activación de cada aislador	<input type="text"/>
Radio de Giro Necesario	<input type="text"/>	Energía Disipada por ciclo	<input type="text"/>
Rigidez Efectiva del Sistema	<input type="text"/>	Energía Disipada por ciclo para un aislador	<input type="text"/>
Rigidez Efectiva de Cada aislador	<input type="text"/>	Frecuencia Angular	<input type="text"/>
Rigidez Vertical	<input type="text"/>	Amortiguamiento efectivo	<input type="text"/>

Unidades:

Figura A1.30: Propiedades mecánicas del aislador FPS

➤ Para poder diseñar este tipo de aislador se debera calcular el desplazamiento total maximo, ya que es un parametro que se toma en cuenta para el calculo de la dimension horizontal del aislador, entonces para esto se hace click en calcular y luego click en la opción “Siguiente”.

Figura A1.31: Desplazamientos del sistema con el aislador FPS

➤ Luego se calculan las Dimensiones del aislador dando click en la opción Calcular y luego en Aceptar.

Figura A1.32: Dimensionamiento del aislador FPS.

➤ Finalmente se presenta un resumen de las propiedades más esenciales del aislador junto con el esquema y las opciones que generan los documentos en PDF.

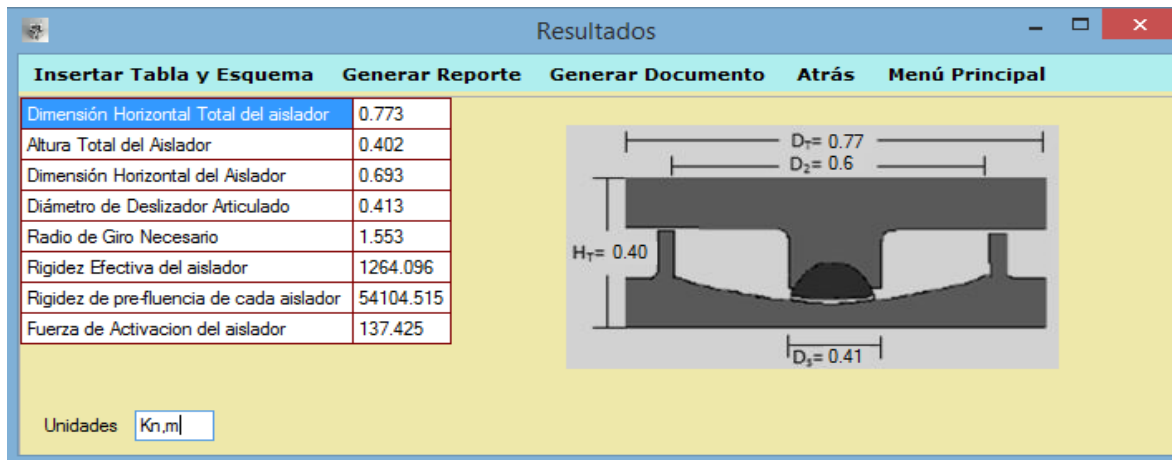


Figura A1.33: Propiedades del aislador FPS con su esquema.

HDR+LRB:

➤ Después de realizar el cálculo de la aceleración espectral, se calculan las propiedades de los aisladores combinados (HDR+LRB) dando click en la opción Calcular, y finalmente click en la opción Aceptar para continuar con el diseño.

The 'Características Mecánicas Preliminares' window contains two columns of input fields for the following properties:

- Propiedades Preliminares
- Amortiguamiento efectivo del sistema
- Coeficiente de amortiguamiento
- Desplazamiento de diseño
- Rigidez total del sistema
- Rigidez para cada aislador
- Altura de la goma
- Área del aislador
- Diámetro externo del aislador
- Energía disipada por ciclo
- Fuerza características preliminar
- Rigidez post-fluencia del sistema
- Rigidez pre-fluencia del sistema
- Desplazamiento de fluencia en función de la rigidez post-fluencia
- Fuerza característica en función del desplazamiento de fluencia
- Área del plomo requerida
- Área de plomo requerida para un aislador LRB
- Diámetro del núcleo de plomo

At the bottom right, the units are set to Unidades with a dropdown menu.

Figura A1.34: Características mecánicas preliminares de la combinación de aislación HDR y LRB.

- Como en el caso del aislador LRB se procede a calcular las Propiedades del Núcleo de Plomo dando click en la opción calcular y luego click en Aceptar.

Figura A1.35: Calculo del diámetro del núcleo de plomo para el aislador LRB.

- Luego se calculan las Dimensiones del aislador y otras propiedades mecánicas dando click en Calcular y luego en la opción “Resumen de Diseño del Sistema”.

Figura A1.36: Dimensionamiento de la combinación de los aisladores HDR y LRB.

➤ Después de haber realizado el diseño para el sistema combinado de aisladores se presenta un resumen de las dimensiones y de las características mecánicas tanto del aislador HDR como LRB para ello se hace click en Calcular y luego en la opción “Verificación al Pandeo”.

Figura A1.37: Resumen de diseño de los aisladores HDR y LRB.

➤ A continuación hacemos Click en Calcular para determinar el coeficiente de seguridad de pandeo y la influencia de la carga vertical en la rigidez horizontal tanto del aislador HDR como el LRB y luego click en Aceptar para proceder con el cálculo de la Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales obteniendo como resultado principal el Desplazamiento crítico.

Figura A1.38: Verificación al pandeo de los aisladores HDR y LRB.

- Se define la Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales para el aislador HDR, luego hacemos click en Aceptar para proceder con el cálculo de la Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales para el aislador LRB.

Figura A1.39: Verificación de la estabilidad ante grandes desplazamiento laterales para el aislador HDR.

- Se define la Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales para el aislador LRB y luego hacemos click en la opción Resumen de Propiedades.

Figura A1.40: Verificación de la estabilidad ante grandes desplazamiento laterales para el aislador LRB.

➤ Finalmente se presenta un resumen de las propiedades más esenciales del aislador HDR Y LRB junto con el esquema y las opciones que generan los documentos en PDF.

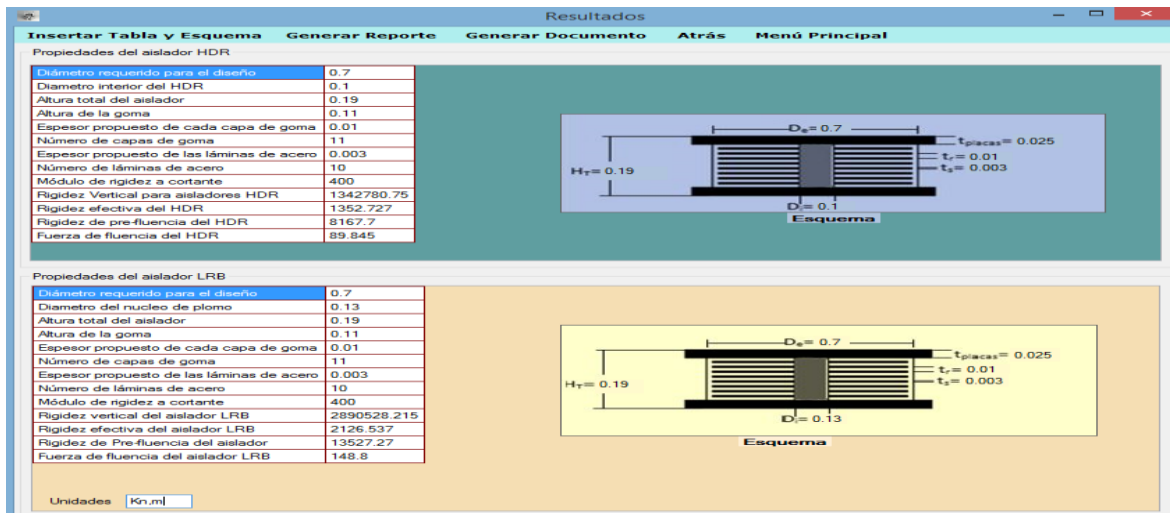


Figura A1.41: Propiedades de la combinación de aisladores HDR y LRB con su respectivo esquema.

- **Desplazamiento Máximo Para el Sismo Máximo Considerado**

Una vez que se hayan calculado las características generales del aislador se procede a calcular el desplazamiento Máximo para el sismo máximo considerado.

HDR:

The screenshot shows a software window titled "Desplazamiento Máximo" with a menu bar containing "Calcular", "Menú Principal", and "Borrar". It contains a text box with instructions and several input fields for calculations.

Según en el libro de Neim y Kelly "DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES" se requiere recalculer el período y amortiguamiento en el máximo sismo. El Módulo por Deformación a Cortante se incrementa al 20% y el amortiguamiento efectivo disminuye a 1%.

Módulo de Rigidez a cortante
 Amortiguamiento Efectivo (%)
 Rigidez Horizontal para un aislador
 Rigidez Horizontal Total del Sistema
 Coeficiente de Amortiguamiento
 Periodo Máximo
 Desplazamiento máximo
 Ayuda Unidades

Figura A1.42: Desplazamiento máximo para el aislador HDR.

LRB y (HDR+LRB):

Figura A1.43: Desplazamiento máximo para el aislador LRB y el sistema mixto HDR + LRB.

- **Fuerzas laterales Mínimas**

Después de haber realizado el cálculo de las Características Generales del aislador y el cálculo del desplazamiento máximo para el sismo máximo considerado se procede a calcular las fuerzas laterales del sistema de aislación siguiendo la norma ASCE7-10 sección 17.5.4 y sección 12.8 y también se calculan las fuerzas laterales mínimas tomando en cuenta el RNC-07.

Primeramente para el cálculo de las fuerzas laterales mínimas según el ASCE 7-10 sección 17.5.4 elegimos el tipo de sistema de aislación que hemos diseñado, luego definimos un factor R basado en el tipo de sistema resistente a fuerza sísmica usado para la estructura por encima del sistema de aislación y será de tres octavos del valor de R dada en la Tabla 12.2-1 , con un valor máximo no mayor que 2,0 y un mínimo valor no inferior a 1,0 una vez definido el tipo de sistema y el factor R damos click en calcular y observamos que se calcula la fuerza lateral por debajo del sistema de aislamiento que no es más que la rigidez efectiva del sistema de aislación por el desplazamiento de diseño, luego tenemos

la fuerza por encima del sistema de aislamiento que es igual a la rigidez efectiva por el desplazamiento de diseño dividido entre el factor R, después tenemos la fuerza de fluencia obtenida en el cálculo de las propiedades bilineales y finalmente tenemos la fuerza de activación del sistema que se obtiene multiplicando la fuerza de fluencia por 1.5. En la pestaña de Ayuda podemos encontrar los requerimientos que se deben tener en cuenta para el cálculo de las Fuerzas laterales mínimas.

Figura A1.44: Fuerzas laterales mínimas para cada sistema de aislamiento.

Luego de haber finalizado este cálculo damos click en siguiente y se nos mostrara la ventana para el cálculo de la fuerza sísmica según el ASCE7-10 sección 12.8 para ello primeramente hay que seleccionar la categoría ocupacional de edificios estipulada en la tabla 1-1 del ASCE7-10 para nuestro caso consideramos una categoría ocupacional de tipo II, luego damos click en calcular y observamos que se definen ciertos parámetros como el factor R, el factor de importancia I el cual está estipulado en la tabla 1-5-2 del ASCE7-10, en nuestro caso para un suelo de tipo II este factor será igual a 1. Después tenemos algunos parámetros que definimos previamente como las aceleraciones espectrales de diseño para periodos cortos y de 1 segundo y el periodo de diseño, estos parámetros servirán para el cálculo del coeficiente sísmico tanto para periodo corto para de 1 segundo y están contemplados en la sección 12.8.1.1 del ASCE7-10 en donde el primer coeficiente calculado no debe exceder al segundo, en nuestro caso lo excede y por lo tanto será el coeficiente que se utilizara para el cálculo de la fuerza sísmica.

Figura A1.45: Fuerza sísmica según el ASCE 7-10.

Luego de finalizar el cálculo de la fuerza sísmica según el ASCE 7-10 damos click en la opción Siguiete y nos encontramos con el cálculo de la fuerza sísmica según el RNC, para esto definidos los periodos estructurales según el Art.27, luego a través del control ComboBox elegimos ciertos parámetros de la estructura contemplados en el RNC como lo es la clasificación de la estructura, condiciones de regularidad, Factor de reducción por ductilidad, factor de reducción por sobrerresistencia, Zona, coeficiente de aceleración a_0 y el tipo de suelo, luego de haber definidos estos parámetros damos click en calcular y obtendremos finalmente la Fuerza sísmica a partir del coeficiente sísmico multiplicado por el peso total de la estructura.

Figura A1.46: Fuerza sísmica según el RNC-07.

- **Desplazamiento Total de Diseño y Desplazamiento Máximo de los Sistemas de Aisladores.**

Una vez que se hayan calculado las características de cualquier tipo de aislador y de haber calculado el desplazamiento máximo se procede a calcular el desplazamiento Total de Diseño y el Desplazamiento Total Máximo de acuerdo a lo estipulado en el ASCE7-10 sección 17.5.35, para mayor información se puede recurrir al link de Ayuda que aparece en la esquina inferior izquierda.

Para calcular dichos desplazamientos elegimos el tipo de sistema que hemos diseñado y establecemos algunos datos que nos proporciona el sistema o la estructura. Luego damos click en calcular y obtenemos primeramente la excentricidad real que luego se le suma la excentricidad accidental, luego obtenemos el desplazamiento de diseño y el desplazamiento máximo hasta llegar a obtener los desplazamiento totales tanto el de diseño como el máximo.

El desplazamiento total de diseño, D_{TD} , y el total desplazamiento máximo, D_{TM} , de elementos de un sistema de aislamiento con distribución espacial uniforme de rigidez lateral no se tomará como menor que prescrito por las ecuaciones. 17,5-5 y 17,5-6 del ASCE 7-10.

Figura A1.47: Desplazamientos totales para cada sistema de aislación.

➤ Deformaciones angulares máximas

Se calcula la deformación angular máxima, la cual debe ser menor a la deformación máxima aceptable para asegurar que el aislador soporte el caso de un sismo de gran magnitud, para ello primeramente introducimos los datos o propiedades de la goma necesarios para determinar dichas deformaciones, estos datos son: Módulo de Young (E), Constante del Material K y Elongación a la ruptura mínima, estos datos son obtenidos a partir de una tabla la cual nos aparecerá dando click en el Link de ayuda, luego de haber introducidos dichos datos damos click en Calcular para verificar si la deformación máxima del aislador se encuentra entre las deformaciones limitantes.

Deformaciones Angulares de la Goma	
Calcular Menú Principal Borrar Ayuda	
Datos	
Módulo de elasticidad que depende de la dureza	<input type="text"/>
Constante del material que depende de la dureza	<input type="text"/>
Elongación última del caucho	<input type="text"/>
Factor aplicado a la elongación última del caucho	<input type="text"/>
Deformación axial media de la capa del elastómero	<input type="text"/>
Deformación angular de corte	<input type="text"/>
Deformación angular de compresión	<input type="text"/>
Deformación angular máxima	<input type="text"/>
Deformación máxima aceptable	<input type="text"/>
Unidades	<input type="text"/>

Figura A1.48: Deformación angular de la goma.

Nota: Este cálculo será el mismo para los aisladores HDR, LRB y para el Sistema Combinado (HDR+LRB), para esto se debe primero determinar las Características Generales del Aislador, los Desplazamientos máximos y Desplazamientos Totales,

- **Links y Opciones de Ayuda**

Datos de Entrada: Al abrir la ventana para introducir los datos de entrada aparece un opción de ayuda, en esta opción se desplegara otras opciones en el cual nos brindaran información acerca de los requerimientos que se deben tener en cuenta al introducir los datos de entrada, dentro de estas opciones tenemos el Amortiguamiento, el Modulo de Cortante para el caso del aislador HDR y Aspectos Generales que hay que tomar en cuenta al momento de introducir datos.

Para el caso del aislador FPS dentro de la ventana de Datos de Entrada abra una opción de ayuda en el cual nos brindara información acerca del esfuerzo de compresión del teflón y del coeficiente de fricción así como otras propiedades importantes.

Con el fin de que el usuario sepa la manera de cómo se obtiene cada calculo, requerimientos, términos y fórmulas utilizadas se creó un link u opción de ayuda que mostrara el procedimiento de cálculo, estos link u opciones aparecen en las ventanas de cálculo de: Aceleración Espectral, Verificación de Pandeo, Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales, Desplazamiento Máximo, Desplazamientos Totales de Diseño y Máximos y Deformaciones Angulares

En la Ventana de las Fuerzas laterales mínimas nos aparece una pestaña de ayuda en donde se desplegara una lista con tres opciones la primera opción nos abre un documento en pdf con el procedimiento de cálculo, la segunda opción se refiere a los criterios que hay que considerar según el ASCE7-10 y la tercera se refiere a los criterios a considerar según el RNC 07 para el cálculo de las Fuerzas laterales mínimas.

XXXVII

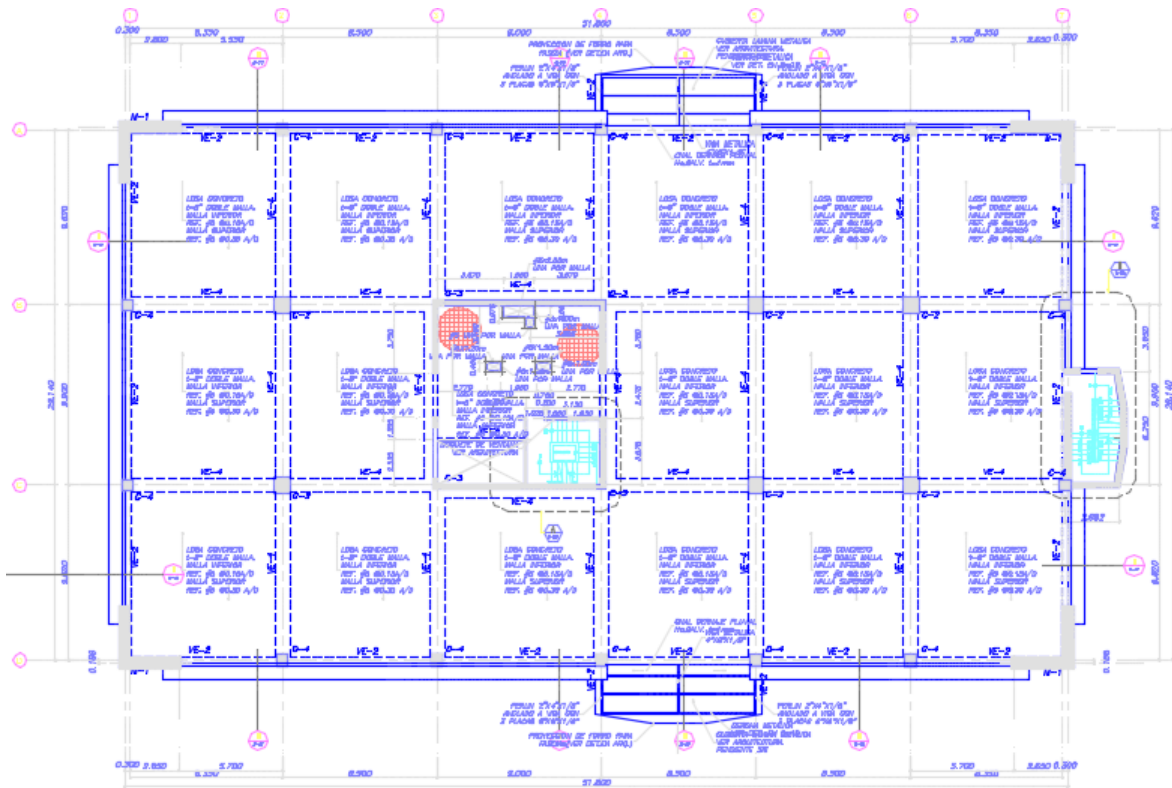


Figura B1.3: Planta Estructural Entrepiso, Segundo Nivel.

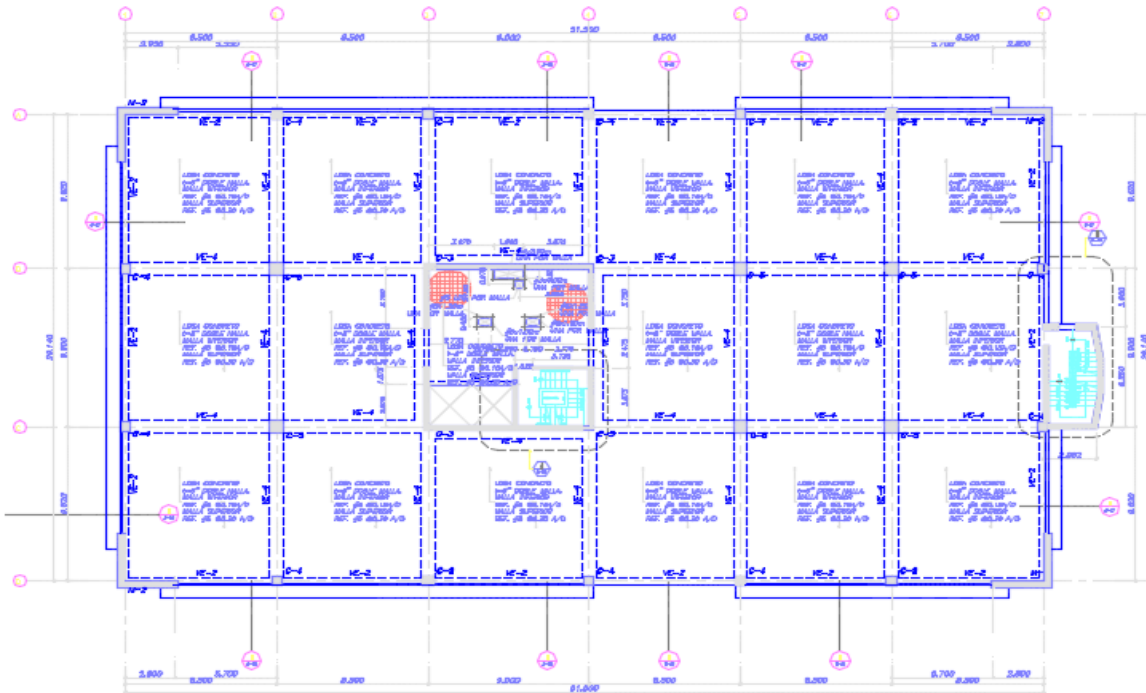
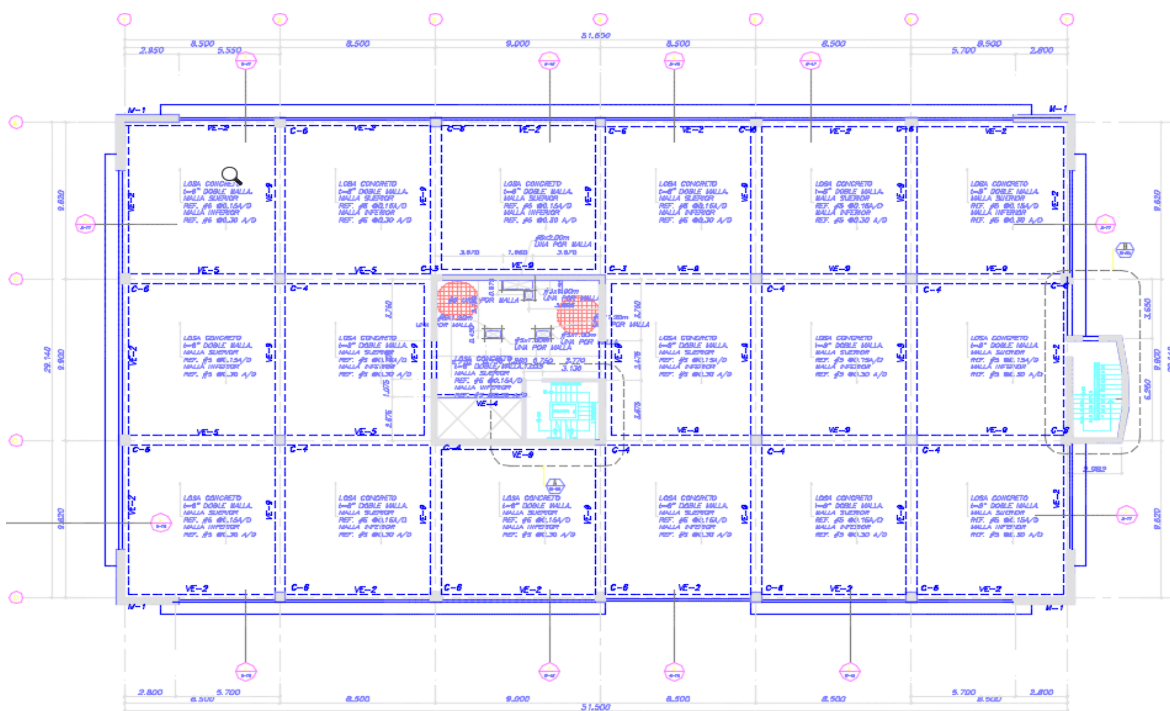
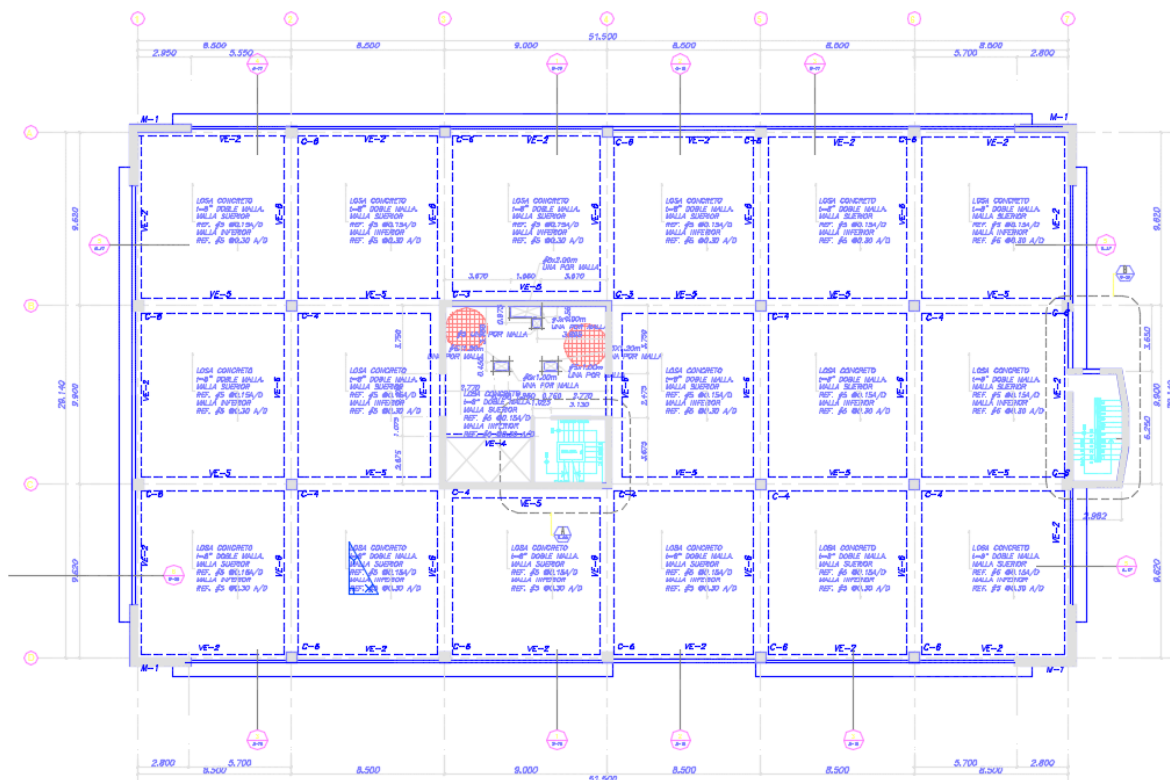


Figura B1.4: Planta Estructural Entrepiso, Tercer Nivel.



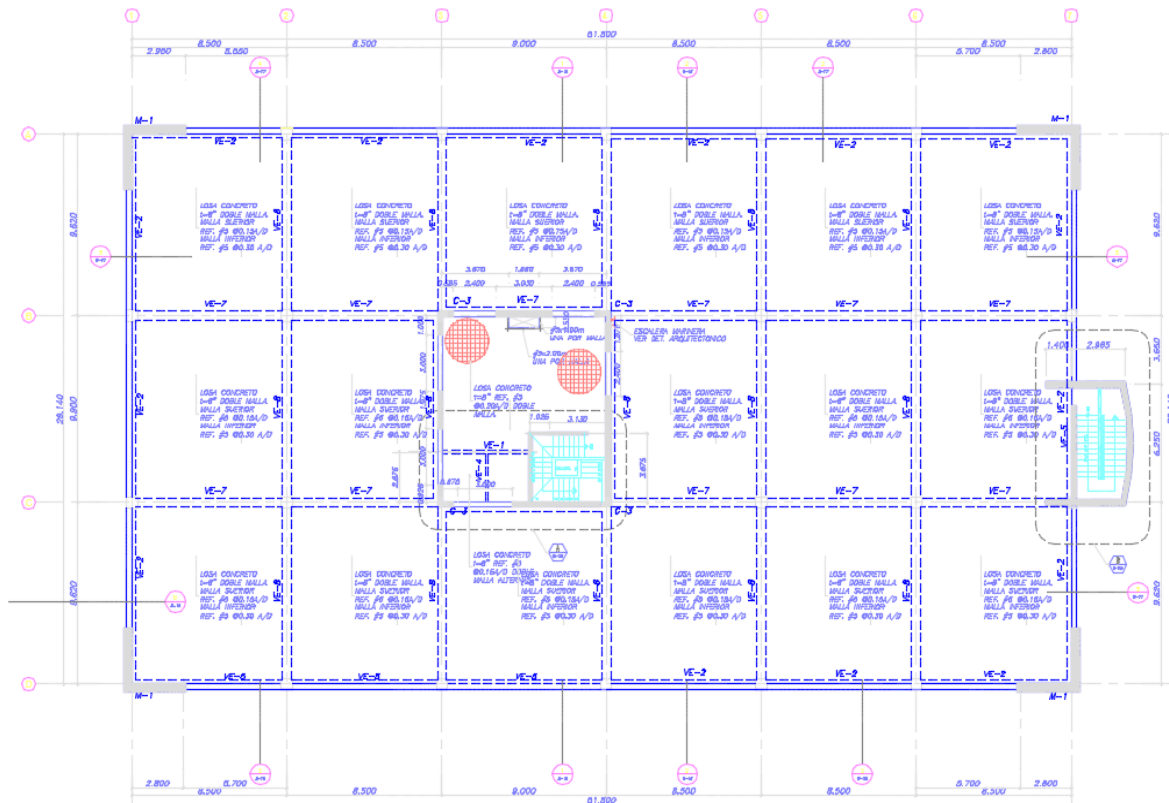


Figura B1.7: Planta Estructural Entrepiso, Azotea.

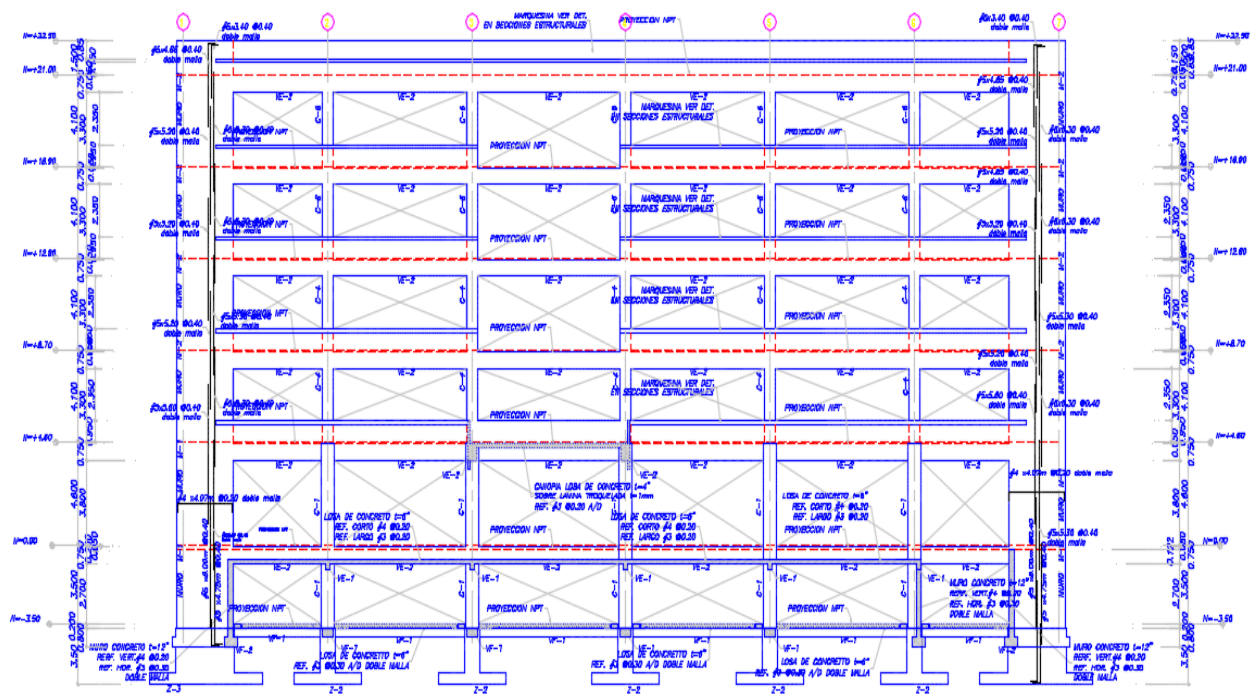
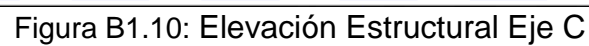
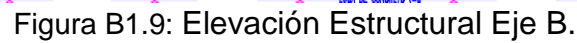


Figura B1.8: Elevación Estructural Eje A.



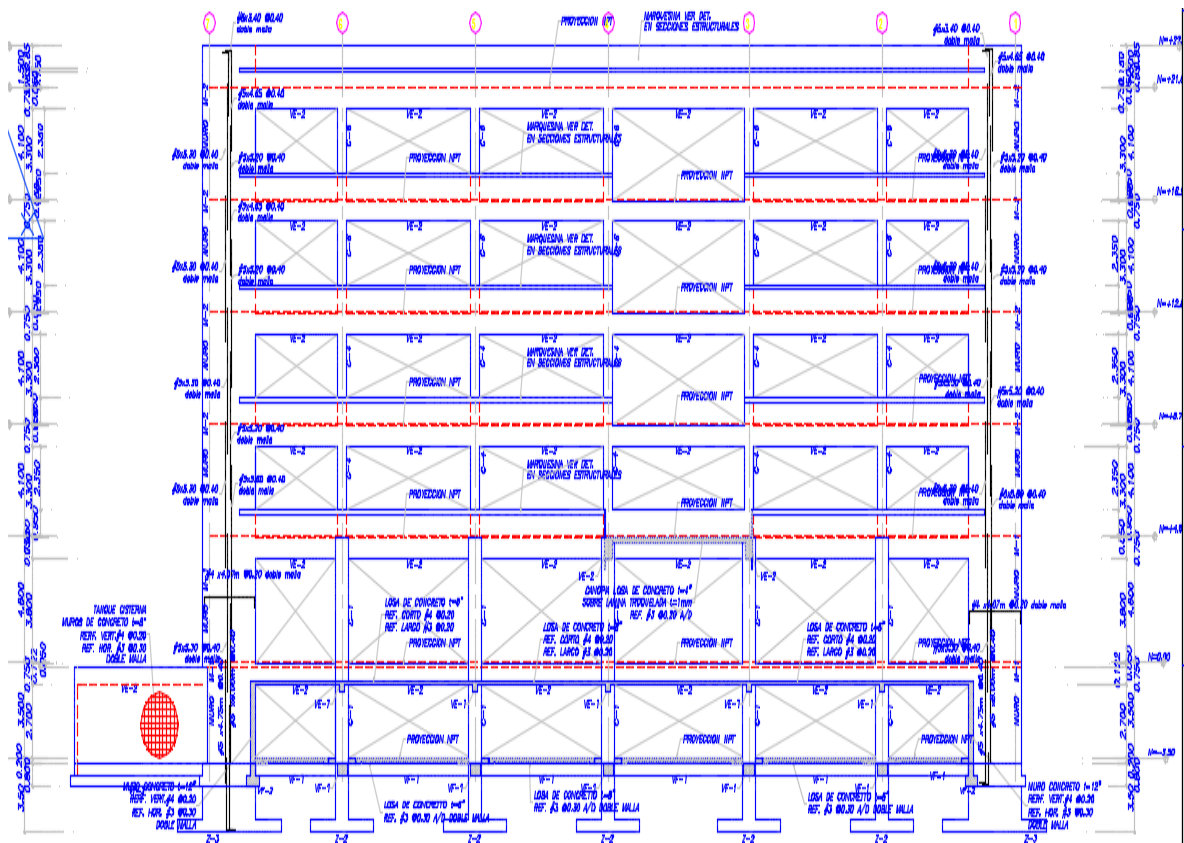


Figura B1.11: Elevación Estructural Eje D

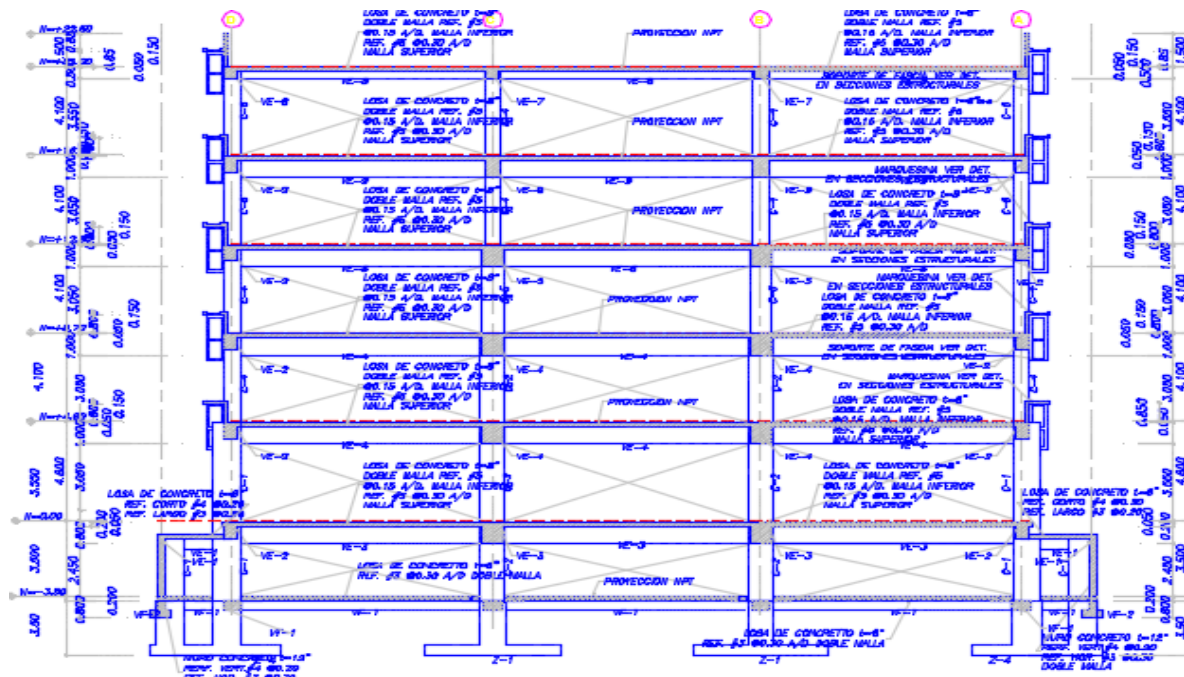


Figura B1.12: Elevación Estructural Eje 2 y 8.

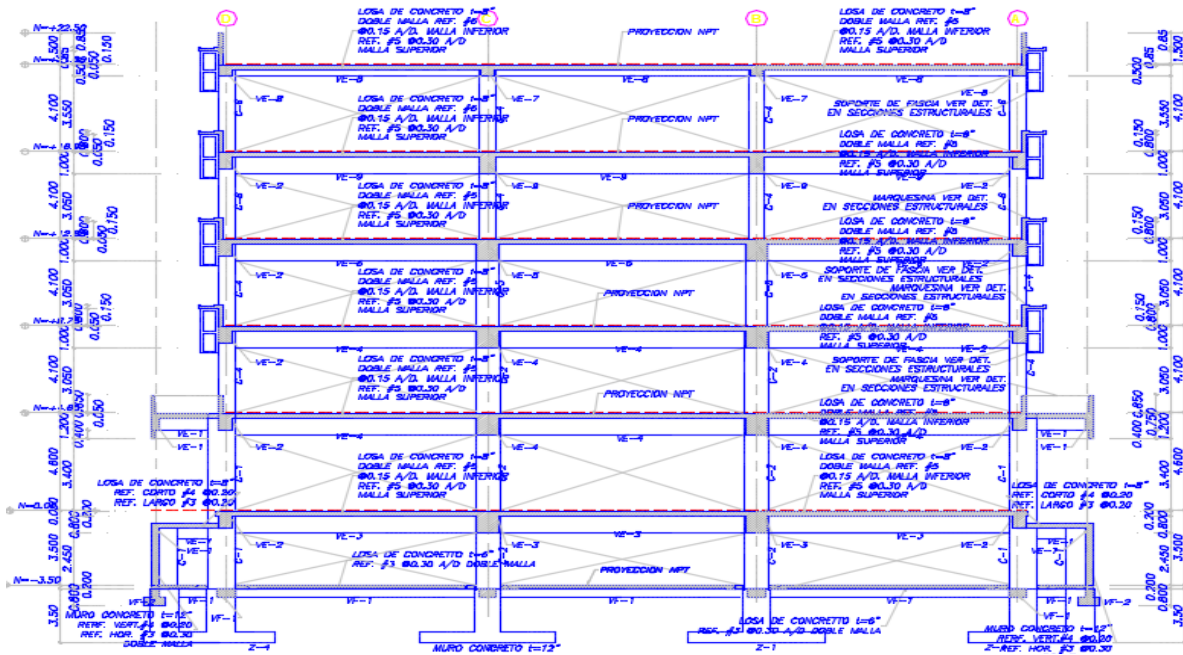


Figura B1.13: Elevación Estructural Eje 5.

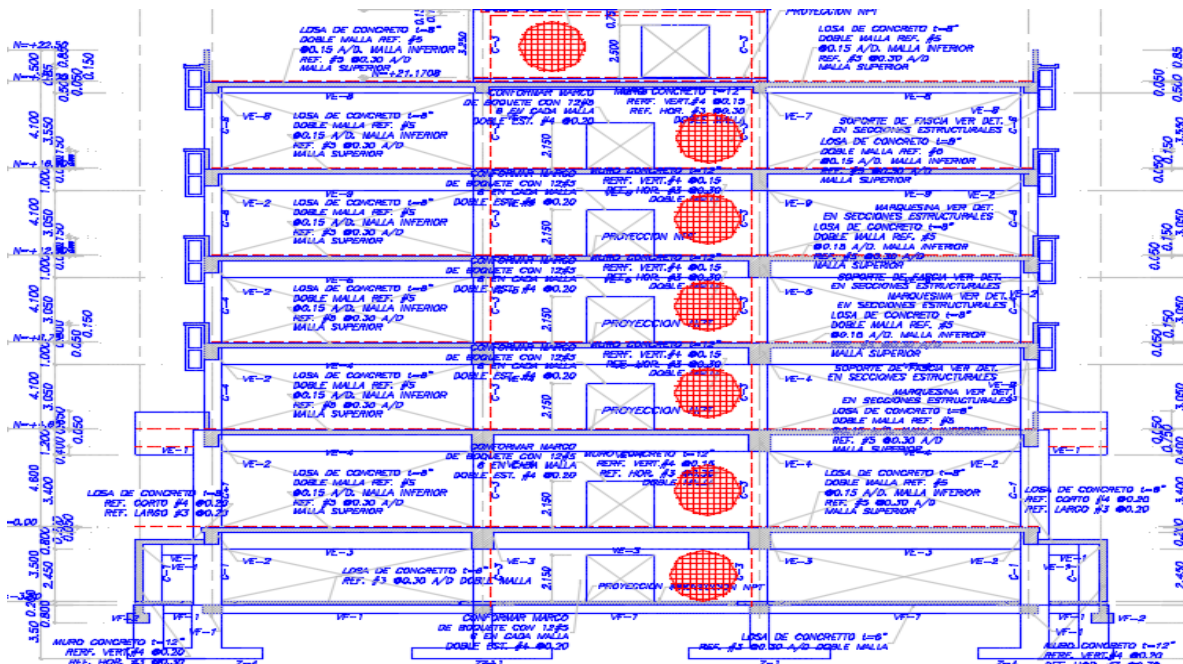
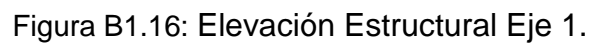
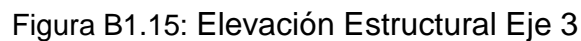


Figura B1.14: Elevación Estructural Eje 4



ANEXO C. DATOS GENERALES PARA EL CALCULO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS AISLADORES SÍSMICOS.

Para Calcular las propiedades mecánicas de cualquier tipo de aislador se debe primeramente establecer algunos datos generales los cuales son obtenidos ya se en base a la información suministrada por algunos fabricantes o por valores estándar los cuales son establecidos gracias a ensayos o pruebas de laboratorio, además de esto se cuenta con los datos propios de la edificación como lo es el peso total, la carga máxima y mínima y el número de aisladores que esta disponga.

A continuación se presentan los datos de entrada para calcular las propiedades mecánicas y físicas de los aisladores HDR, LRB y FPS.

1. El número de aisladores que se utilizaran en el sistema de aislación, que se denominará N , dicho dato fue tomado según el número de elementos portantes de la estructura, es decir que estos se colocaron debajo de cada columna y debajo de los extremos de los muros.
2. Peso total de la estructura sobre el sistema de aislación: W , este corresponde a la carga muerta del edificio más la sobrecarga de uso.
3. Periodo objetivo deseado: T_D , de acuerdo a la experiencia que existe se decide por $T_D = 2,5$ segundos.
4. Carga máxima (P_{max}) bajo la cual estará actuando el aislador bajo su vida útil, la cual está dada por la combinación de peso propio más sobrecarga y sismo.
5. Los aisladores de goma de alta amortiguación están hechos especialmente de compuestos de elastómero que proporcionan amortiguación equivalente en el intervalo de 10% a 20%. Para los aisladores LRB típicamente el amortiguamiento esta entre 15-35%. Para los aisladores FPS generalmente el amortiguamiento esta entre 15-40%.

6. Límites empíricos se aplican a la deformación por esfuerzo cortante en base a la evidencia experimental. En general, la limitación de deformación de corte directa γ_s se toma como 150% para cargas DBE y 250% para cargas de MCE.

7. Según el Libro Seismic Isolation for Designers and Structural Engineers publicado por los investigadores Trevor Kelly, Bill Robinson e Ivan Skinner Los aisladores elastoméricos y los de goma con plomo por lo general se fabrican utilizando goma con un módulo de cortante al 100% de la deformación que varía aproximadamente de 0,40 MPa a 1,20 MPa.

El módulo de corte de un cojinete de HDR es una función de la deformación de corte aplicada como se muestra en Figura C1.1. A niveles bajos de deformación, a menos de 10%, el módulo de corte es 1,2 MPa o más. Como la deformación por cortante aumenta el módulo de corte se reduce, en este caso de llegar a un valor mínimo de 0,4 MPa para la deformación de cortante entre 150% y 200%. A medida que la deformación de corte sigue aumentando el módulo de corte aumenta de nuevo, para este compuesto aumentando en un 50% a 0,6 MPa en una deformación del 340%.

Típicamente, el caucho utilizado para LRB tiene sólo una ligera dependencia de la deformación aplicada, a diferencia de aislador de alto amortiguamiento, que está específicamente formulado para tener una alta dependencia en deformación.

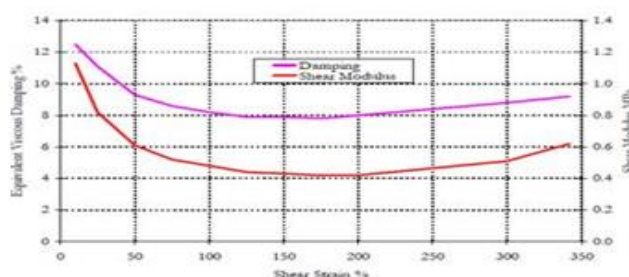


Figura C1.1: Módulo del cortante y amortiguamiento

Fuente: R. IVAN SKINEER, T.KELLY Y B.ROBINSON SEISMIC ISOLATION FOR DESIGNERS AND STRUCTURAL ENGINEERS.

8. Según los estudios realizados por Ivan Skinner el espesor de la capa de hule es generalmente una constante de 10 mm. Este espesor proporciona buen confinamiento para el núcleo de plomo y es lo suficientemente delgado como para proporcionar una alta capacidad de carga. Si las cargas verticales son críticas el espesor de carga puede reducirse a 8 mm o incluso a 6 mm aunque se debe consultar con los fabricantes de estas capas delgadas. Las capas más delgadas se suman a la altura del aislador, y también cuesta, ya que se requieren más cuñas internas. El espesor de capa por lo general no debe exceder de 10 mm para LRB pero capas más gruesas se pueden utilizar para elastomérico o cojinetes de HDR (hasta 15 mm). La capacidad de carga disminuye rápidamente a medida que el espesor de la capa aumenta.

9. Típicamente se propone un espesor de láminas de acero de 3 mm y un espesor de placa de anclaje de 25 mm.

10. Generalmente según la experiencia en el Diseño de aisladores sísmicos se considera un Diámetro inicial entre 10 y 15 cm.

11. El valor del módulo de compresibilidad de la goma varía bastante ampliamente en el material de referencia, que van desde un mínimo de 1000MPa a 2500MPa. El valor más utilizado y el que parece ajustarse a los resultados de pruebas de laboratorio en el aislador es 2000MPa.

12. El esfuerzo de fluencia para las láminas de acero es tomado según el tipo de acero que se utilice, generalmente se ocupa un acero tipo A-36 cuyo esfuerzo de fluencia es de 250000 KN/m².

13. El valor de Esfuerzo de compresión para aisladores sísmico se basa en ensayos. Según el Ing. Julio Miranda, para el sistema GAPEC el esfuerzo de compresión de los aisladores elastoméricos anda entre 1000 a 1500 psi con factor de seguridad incluido, también existen catálogos de empresas fabricantes tales

14. como FIP INDUSTRIALE, ALGASISM, etc. en donde emplean un esfuerzo de compresión mínimo de 15000 Kpa.

15. En el diseño de aisladores HDR se toma en cuenta un factor que varía entre (0.05-0.1), dicho factor al multiplicarlo con la altura de la goma dará como resultado la deformación de fluencia.

16. Para aisladores con núcleo de plomo, comúnmente en la práctica se trabaja con un esfuerzo de fluencia y módulo de compresión del plomo es de 10Mpa y 1400Mpa respectivamente.

17. Comúnmente los aisladores FPS son recubiertos con Politetrafluoroetileno(PTFE) o teflón que tiene un coeficiente de fricción bajo y tiene por objeto evitar la ralladura de la superficie esférica de acero. Según la información suministradas de la industria fabricantes de teflón Industrias JQ el esfuerzo de compresión que puede llegar a presentar este material plástico en su estado virgen varía entre 44-100 kg/cm².

18. Comúnmente en la práctica se utilizan coeficiente de fricción entre 0.05-0.12.

Según el Libro Seismic Isolation for Designers and Structural Engineers publicado por los investigadores Trevor Kelly, Bill Robinson e Ivan Skinner las pruebas desarrolladas para los aisladores en un proyecto de construcción mostraron que el coeficiente dinámico mínimo para una velocidad de <25 mm / seg (1 in / seg) variaron de 2,5% a 8% dependiendo de la presión, estos resultados fueron entre una amplia gama de tamaños y presiones de rodamientos. El coeficiente medio de fricción a bajas velocidades fue de 5% a presiones menores que 13,8 MPa (2 ksi) disminuyendo en 2% a presiones superiores a 69 MPa (10 ksi).

El equipo de prueba de alta capacidad de carga utilizado para los aisladores a escala completa no era adecuado para pruebas de alta velocidad y así el máximo coeficiente de fricción dinámica se obtuvo de dos fuentes:

- Una serie de pruebas que se llevaron a cabo en la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda (UA), con el que llevan tamaños de 10 mm, 25 mm y 50 mm (3/8 ", 1" y 2 ") de diámetro. El efecto del coeficiente de fricción dinámica versus tamaño se determina a partir de estas pruebas.
- Datos adicionales que se obtuvieron de la Universidad Estatal de Buffalo mediante pruebas realizadas en aisladores de 254 mm (10 ") de diámetro utilizando los mismos materiales (Informe Técnico NCEER-88-0038). Estos datos confirmaron los resultados de las pruebas de UA.

Los resultados de las pruebas UA mostraron cierta dependencia en el tamaño, como el coeficiente máximo de fricción dinámica para velocidades superiores a 500 mm / seg (20 pulgadas / seg) este fue aproximadamente 40% mayor para 50 mm (rodamientos de 2 pulgadas de diámetro) en comparación con los aisladores de diámetro de 254 mm (10 pulgadas).

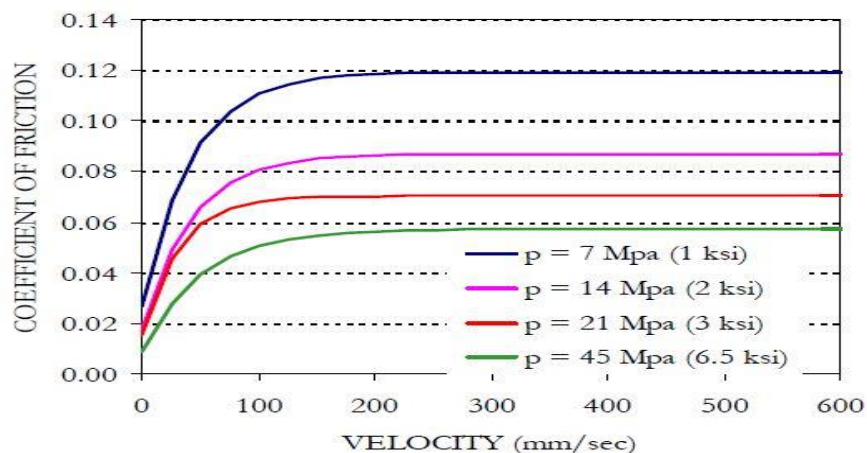


Figura C1.2: Grafica coeficiente de fricción vs velocidad

Fuente: R. IVAN SKINEER, T.KELLY Y B.ROBINSON SEISMIC ISOLATION FOR DESIGNERS AND STRUCTURAL ENGINEERS.

ANEXO D. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AISLACION: HDR, LRB Y HDR+LRB.

D.1. Diseño del aislador de alto amortiguamiento HDR.

➤ Procedimiento de diseño

DATOS GENERALES.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Módulo de Corte	G	400	KN/m^2
Deformación de cortante	γ_s	1.5	
Esfuerzo de Compresión del Elastómero	σ_{AC}	15000	KN/m^2
Peso Total del Edificio	W	106013.932	KN
Carga Máxima	P_{max}	6012.516	KN
Carga Mínima	P_{min}	195.652	KN
Número total de Aisladores	N	54	
Amortiguamiento Efectivo	β_D	15	%
Periodo de Diseño	T_D	2.5	Seg.
Periodo Máximo	T_M	3	Seg.
Espesor propuesto de capa de goma	t_r	0.008	m
Espesor propuesto de láminas de acero	t_s	0.003	m
Esfuerzo de Fluencia del Acero	σ_Y	250000	KN/m^2
Espesor propuesto de las placas de anclaje	t_{placa}	0.025	m
Módulo de Compresibilidad de la goma	K	2000000	KN/m^2
Diámetro Inicial	D_i	0.1	m
Coeficiente λ	λ	0.1	

Tabla D1.1: Datos generales del aislador HDR.

- **Aceleración Espectral**

- **Aceleración Mapeada:** Los Parámetros de Aceleración mapeada se determinan en el capítulo 22 del ASCE 7-10 que son datos correspondientes a los Estados Unidos. Para la Ciudad de Managua la aceleración de respuesta espectral para periodos cortos (S_s) y periodo de 1 segundo (S_1) se determina de acuerdo a la Tabla 5.3 del Informe Final de Evaluación Regional de la amenaza sísmica de Centroamérica (UPM 2008) para un periodo de retorno de 2500 años.

MANAGUA	Periodo de Retorno (años)		
Aceleración (cm/s ²)	500	1000	2500
PGA	507	605	763
SA(0.1s)	1298	1584	2061
SA(0.2s)	1138	1392	1782
SA(0.5s)	586	710	903
SA(1.0s)	288	351	453
SA(2.0s)	122	152	200

Tabla D1.2: Parámetros resultantes de amenaza para diferentes periodos de retorno en la ciudad de Managua.

Se establece la Aceleración Mapeada para un periodo corto de 0.2s y para un periodo de 1 seg.

Aceleración Mapeada para un periodo corto de 0.2 seg (S_s) y para un periodo de 1 seg (S_1).

$$S_s=1782 \text{ cm/s}^2$$

$$S_1=453 \text{ cm/s}^2$$

Aceleración Mapeada son convertidos a unidades de aceleración en función de la gravedad:

$$S_s = \frac{1782 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2} = 1.82 \text{ g}$$

$$S_1 = \frac{453 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2} = 0.46 \text{ g}$$

Aceleración para el sismo máximo considerado (MCER) para periodos cortos (S_{Ms}) y para periodos de 1 segundo (S_{M1}) ASCE -10, Seccion11.4.3

$$S_{Ms} = F_a * S_s = 1 * 1.82 = 1.82$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 = 1.34 * 0.46 = 0.62$$

Aceleración para el sismo de Diseño para periodos cortos (S_{Ds}) y para periodos de 1 segundo (S_{D1}) ASCE 7-10 Seccion11.4.4.

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} * S_{Ms} = \frac{2}{3} * 1.82 = 1.21$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} = \frac{2}{3} * 0.62 = 0.41$$

- **Propiedades Mecánicas del Aislador**

- **Coeficiente de Amortiguamiento**

Según la tabla 17.5.2 del ASCE 7-10 para un amortiguamiento efectivo del 15% el coeficiente de amortiguamiento (β_d) será igual a 1.35 cuyo valor fue obtenido mediante interpolación lineal.

➤ Desplazamiento de Diseño

El Desplazamiento de Diseño se calcula con la siguiente formula

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 \beta_d}$$

Dónde:

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

S_{D1} : Aceleración espectral para un periodo de 1 seg

T_D : Periodo de Diseño del sistema de aislacion

β_D : Coeficiente de Amortiguamiento efectivo

$$D_D = \frac{9.81 \text{ m/seg}^2 * 0.41 * 2.5 \text{ Seg.}}{4\pi^2 * 1.35} = 0.189 \text{ m}$$

➤ Rigidez Total del Sistema

$$K_{HTotal} = \frac{W}{g} * \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

Dónde:

W : Peso propio del edificio: CM+CVR.

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg²)

T_D : Periodo de Diseño del sistema de aislación

$$K_{HTotal} = \frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2} * \left(\frac{2\pi}{2.5 \text{ Seg.}} \right)^2 = 68261.158 \text{ KN/m}$$

- Rigidez de cada aislador

$$K_H = \frac{K_{HTotal}}{N}$$

Dónde:

K_{HTotal} : Rigidez total del sistema

N : Número de aisladores

$$K_H = \frac{68261.158 \text{ KN/m}}{54} = 1264.096 \text{ KN/m}$$

- Altura de la goma

$$H_r = \frac{D_D}{\gamma_s}$$

Dónde:

D_D : Desplazamiento de Diseño

γ_s : Deformación de cortante máxima cuyo valor es igual 1.5

$$H_r = \frac{0.189 \text{ m}}{1.5} = 0.126 \text{ m} \approx 0.13 \text{ m}$$

- Área del Aislador basada en el esfuerzo de compresión

$$A_1 = \frac{P_{max}}{\sigma_{AC}}$$

Dónde:

P_{max} : Carga máxima de la estructura

σ_{AC} : Esfuerzo de Compresión, tomado como un dato de entrada

$$A_1 = \frac{6012.516 \text{ KN}}{15000 \text{ KN/m}^2} = 0.401 \text{ m}^2$$

➤ Diámetro

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * A_1}{\pi} + D_i^2}$$

Dónde:

A_1 : Área del Aislador basada en el esfuerzo de compresión

D_i : Diámetro inicial del aislador

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * 0.401 \text{ m}^2}{\pi} + (0.1 \text{ m})^2} = 0.722 \text{ m}$$

➤ Área del Aislador basada en el módulo de cortante

Dónde:

K_{HTotal} : Rigidez Horizontal Total del Sistema

H_r : Altura del caucho

G : Modulo de Cortante

$$A_2 = \frac{1264.096 \text{ KN/m} * 0.13 \text{ m}}{400 \text{ KN/m}^2} = 0.411 \text{ m}^2$$

➤ Diámetro

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * A_2}{\pi} + D_i^2}$$

Dónde:

A_2 : Área del Aislador basada en el módulo de cortante

D_i : Diámetro inicial del aislador

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * 0.411 m^2}{\pi} + (0.1 m)^2} = 0.730 m$$

Se escoge el diámetro más adecuado del aislador (D_e) entre el calculado con el área según el esfuerzo de compresión y el calculado con el área según el módulo de cortante, la rigidez y la altura del caucho, luego con el diámetro elegido se determina el área definitiva del aislador.

El diámetro mayor entre los calculados anteriormente resulto ser de 0.730m sin embargo con el propósito de obtener un diámetro que se adecue o sea ajustable a un diámetro comercial este será igual a 0.7 m

$$D_e = 0.7m$$

➤ Área del Diámetro adecuado

$$A = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2)$$

Donde:

D_e : Diámetro exterior del aislador

D_i : Diámetro interior del aislador

$$A = \frac{\pi}{4} [(0.7 m)^2 - (0.1)^2] = 0.377 m^2$$

➤ Factor de Forma

Se recomienda que este valor sea mayor a 10 en los aisladores, ya que esto asegura que la rigidez vertical sea la adecuada. (Mayes y Naeim, 2001).

$$S = \frac{D_e - D_i}{4 * t_r}$$

Dónde:

D_e : Diámetro exterior del aislador

D_i : Diámetro inicial del aislador

t_r : Espesor de cada capa de goma

$$S = \frac{0.7 \text{ m} - 0.1 \text{ m}}{4 * 0.008 \text{ m}} = 18.75$$

➤ Numero de capas de caucho.

$$n = \frac{H_r}{t_r}$$

Dónde:

H_r : Altura del caucho

t_r : Espesor de cada capa de goma

$$n = \frac{0.13 \text{ m}}{0.008 \text{ m}} = 16.25 \approx 17 \text{ capas de caucho}$$

➤ Numero de láminas de Acero

$$n_{\text{lam.de acero}} = n - 1$$

Dónde:

n : Numero de capas de caucho

$$n_{lam.de\ acero} = 17 - 1 = 16\ laminas\ de\ Acero$$

➤ Altura Total del aislador

$$H_{Total} = H_r + (n - 1) * t_s + 2 * t_{placas}$$

$$H_r = n * t_r = 0.008 * 17 = 0.136\ m$$

$$H_{Total} = 0.136\ m + (17 - 1) * 0.003\ m + 2 * 0.025\ m = 0.234\ m \cong 0.23\ m$$

➤ Módulo de elasticidad del caucho y acero:

Aunque se han propuesto una serie de relaciones empíricas aproximadas para el cálculo del módulo de compresión, la expresión correcta para aisladores circulares es:

$$E_c = \left(\frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * K} \right)^{-1} \quad (Kelly\ 1993)$$

Dónde:

G : Modulo de corte

S : Factor de Forma

K : Modulo de compresibilidad del caucho

$$E_c = \left(\frac{1}{6 * 400\ KN/m^2 * (18.75)^2} + \frac{4}{3 * 2000000\ KN/m^2} \right)^{-1} = 540000\ KN/m^2$$

➤ Rigidez Vertical

$$K_V = \frac{E_C * A}{H_r}$$

$$H_r = n * t_r = 17 * 0.008 = 0.136 \text{ m}$$

Dónde:

E_C : Módulo de elasticidad del caucho y acero

A : Area del aislador

t_r : Espesor de goma

$$K_V = \frac{540000 \text{ KN/m}^2 * 0.377 \text{ m}^2}{0.136 \text{ m}} = 1496911.765 \text{ KN/m}$$

➤ Frecuencia Horizontal:

$$f_H = \frac{1}{T_D}$$

➤ Frecuencia Vertical:

$$f_H = \frac{1}{2.5 \text{ seg.}} = 0.4 \text{ Hertz}$$

El valor de la fuerza vertical debe ser mayor a los 10 Hertz, en caso de que esta sea menor se deberá revisar el espesor de la goma.

$$f_V = \sqrt{6} * 18.75 * 0.4 = 18.371 \text{ Hertz}$$

➤ Esfuerzo de trabajo de las láminas de acero

Se propone un valor para las placas de acero, t_s y se verifica que la tensión de trabajo no sobrepase el valor admisible. Para esto primero se calcula el valor de la tensión máxima de tracción en las placas, σ_s la cual depende del cociente entre los espesores de la capa de goma y la de acero y del tensión de compresión máxima en el aislador; luego se tiene la tensión admisible σ_{adm} , y se debe cumplir que σ_s no sobrepase a σ_{adm} para que el valor propuesto t_s sea el adecuado.

$$\sigma_s = 1.5 * \frac{t_r}{t_s} * \sigma_{AC}$$

Dónde:

t_r : Espesor de capa de goma

t_s : Espesor de las placas de acero

σ_{AC} : Esfuerzo de compresión

$$\sigma_s = 1.5 * \frac{0.008 \text{ m}}{0.003 \text{ m}} * 15000 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} = 6000 \text{ KN/m}^2$$

➤ Esfuerzo admisible del acero

$$\sigma_{adm} = 0.75 * \sigma_Y$$

Dónde:

σ_Y : Esfuerzo de fluencia del acero

$$\sigma_{adm} = 0.75 * 250000 = 187500 \text{ KN/m}^2$$

Finalmente se cumple que σ_s no sobrepasa a σ_{adm} .

- **Propiedades de Modelación Bilineal**

En el análisis de estructuras con aisladores HDR, la curva fuerza-deformación se modela como un sistema bilineal cuyas características están basadas en tres parámetros: La Rigidez de Pre-fluencia(K_1), La Rigidez de Post-fluencia(K_2 y la Fuerza Característica (Q), también se definen otros parámetros como lo son la rigidez efectiva y la energía disipada, estos parámetros son utilizados para caracterizar el comportamiento no lineal de los aisladores y son útiles para realizar el análisis dinámico tiempo-historia.

➤ Rigidez Horizontal del Aislador

$$K_H = \frac{G * A}{H_r}$$

Dónde:

G: Modulo de corte

A: Área del aislador

H_r : Altura del caucho

$$K_H = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.377 \text{ m}^2}{0.136 \text{ m}} = 1108.824 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez Horizontal Total del Sistema

$$K_{HTOTAL} = K_H * N$$

$$K_{HTOTAL} = 1108.824 \text{ KN/m} * 54 = 59876.496 \text{ KN/m}$$

- Energía disipada por ciclo

$$W_D = 2 * \pi * K_H * D_D^2 * \beta$$

Dónde:

K_H : Rigidez Horizontal

D_D : Desplazamiento de Diseño

β : Amortiguamiento efectivo

$$W_D = 2 * \pi * 1108.824 \frac{KN}{m} * (0.189)^2 * 0.15 = 37.330 \text{ KN.m}$$

- Deformación elástica

$$D_Y = \lambda * H_r$$

Dónde:

λ : Coeficiente para el cálculo de la deformación elástica cuyos valores varían entre 0.05-0.1

H_r : Altura del caucho

$$D_Y = 0.1 * 0.136 \text{ m} = 0.014 \text{ m}$$

- Fuerza característica

$$Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_Y)}$$

Dónde:

W_D : Energía Disipada por ciclo

D_D : Desplazamiento de Diseño

D_Y : Desplazamiento de Fluencia

$$Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_Y)} = \frac{37.330 \text{ KN.m}}{4(0.189 \text{ m} - 0.014 \text{ m})} = 53.329 \text{ KN}$$

➤ Rigidez de Post-Fluencia

$$K_2 = K_H - \frac{Q}{D_D}$$

Dónde:

K_H : Rigidez Horizontal

Q : Fuerza Característica

D_D : Desplazamiento de Diseño

$$K_2 = 1108.824 \frac{\text{KN}}{\text{m}} - \frac{53.329 \text{ KN}}{0.189 \text{ m}} = 826.660 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez de Pre-Fluencia

$$K_1 = \frac{Q}{D_Y} + K_2$$

Dónde:

Q : Fuerza Característica

D_Y : Desplazamiento de Fluencia

K_2 : Rigidez de Post-Fluencia

$$K_1 = \frac{53.329 \text{ KN}}{0.014} + 826.660 \text{ KN/m} = 4635.874 \text{ KN/m}$$

➤ Fuerza de Fluencia

$$F_Y = K_1 * D_Y$$

Dónde:

K_1 : Rigidez de Pre-Fluencia

D_Y : Desplazamiento de Fluencia

$$F_Y = 4635.874 \text{ KN/m} * 0.014\text{m} = 64.902 \text{ KN}$$

➤ Relación rigidez post-fluencia/rigidez pre-fluencia

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{826.660 \text{ KN/m}}{4635.874 \text{ KN/m}} = 0.178$$

➤ Periodo de diseño

$$T_D = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{g * K_{HTOTAL}}}$$

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{106054.179 \text{ KN}}{9.81\text{m/s}^2 * 59876.496 \text{ KN/m}}} = 2.67 \text{ seg}$$

• **Verificación al Pandeo**

Los aisladores elastoméricos son susceptibles a inestabilidad por pandeo parecida a la que se da en una columna pero dominado por la baja rigidez de cortante del aislador. La teoría de pandeo de los aisladores es el resultado del trabajo realizado por Haringx en 1947.

El Factor de seguridad para el Sismo de Diseño debe ser de al menos 1.5 y preferiblemente 2.0.

El Factor de seguridad para el Sismo Máximo Considerado debe ser de al menos 1.25 y preferiblemente 1.5.

➤ Inercia del Aislador

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right]$$

Dónde:

I: Inercia del aislador

D_e : Diámetro externo del aislador

d_p : Diámetro del núcleo de plomo

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{0.7}{2} \right)^4 - \left(\frac{0.1}{2} \right)^4 \right] = 0.012 \, m^4$$

➤ Carga de Pandeo del aislador

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_C * I}{3 * h^2} * \frac{h}{H_r}$$

Dónde:

P_E : Carga de Pandeo del aislador

E_C : Modulo de elasticidad del caucho y acero

h : Altura de la goma más la altura de las láminas de acero

H_r : Altura de la goma

$$P_E = \frac{\pi^2 * 540000 \, KN/m^2 * 0.012 \, m^4}{3 * [(0.136 \, m) + (17 - 1) * (0.003 \, m)]^2} * \frac{0.136 \, m + (17 - 1) * 0.003 \, m}{0.136 \, m} = 851915.981 \, KN$$

➤ Área de Cortante Efectiva

$$A_S = A * \frac{h}{H_r}$$

Dónde:

A_S : Área de Cortante Efectiva

A: Área del aislador

h: Altura de la goma más la altura de las láminas de acero

H_r: Altura de la goma

$$A_s = 0.377 \text{ m}^2 * \frac{17 * 0.008 \text{ m} + (17 - 1) * 0.003 \text{ m}}{0.136 \text{ m}} = 0.510 \text{ m}^2$$

➤ Rigidez de cortante efectiva

$$P_s = G * A_s$$

Dónde:

G: Modulo de rigidez a cortante

A_s: Área de Cortante Efectiva

$$P_s = 400 \text{ KN/m}^2 * 0.510 \text{ m}^2 = 204 \text{ KN}$$

➤ Carga critica

$$P_{crit.} = \sqrt{P_s} * \sqrt{P_E}$$

Dónde:

P_s: Rigidez de cortante efectiva

P_E: Carga de Pandeo de Euler del aislador

$$P_{crit.} = \sqrt{204 \text{ KN}} * \sqrt{851915.981 \text{ KN}} = 13182.976 \text{ KN}$$

- Factor de seguridad de Pandeo

$$F.S = \frac{P_{crit.}}{P_{max}}$$

$$F.S = \frac{13182.976 \text{ KN}}{6012.516 \text{ KN}} = 2.193 > 2 \text{ ok}$$

- **Influencia de la carga Vertical en la Rigidez Horizontal**

- Rigidez Horizontal Reducida

$$K_{HR} = \frac{GA_s}{h} \left[1 - \left(\frac{P_{max}}{P_{crit.}} \right)^2 \right]$$

Dónde:

G: Modulo de corte

A_s : Área de Cortante Efectiva

h: Altura total de la goma más la altura de las láminas de acero

P: Carga máxima

$P_{crit.}$: Carga critica

$$K_{HR} = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.510 \text{ m}^2}{0.136 \text{ m} + ((17 - 1) * 0.003 \text{ m})} \left[1 - \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{13182.976 \text{ KN}} \right)^2 \right] = 878.075 \text{ KN/m}$$

- Desplazamiento hacia abajo de la parte superior del aislador.

Este desplazamiento hacia abajo es en adición al producido por compresión pura del aislador y es causada por la rotación de las placas de acero de refuerzo en el centro del aislador. Esta rotación produce un esfuerzo cortante causado por la componente de la carga vertical a lo largo de las capas giradas, y la deformación por esfuerzo cortante resultante provoca el movimiento hacia abajo de la parte superior del aislador.

$$\delta_V = \left(\frac{P_{max}}{P_{crit.}} \right) \sqrt{\frac{P_S}{P_E} \frac{D_D^2}{h}}$$

Dónde:

P : Carga máxima

$P_{crit.}$: Carga critica

P_S : Rigidez de cortante efectiva

P_E : Carga de Pandeo de Euler del aislador

D_D : Desplazamiento de Diseño

h : Altura de la total goma más la altura de las láminas de acero

$$\delta_V = \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{13182.976 \text{ KN}} \right) \sqrt{\frac{204 \text{ KN}}{851915.981 \text{ KN}}} * \frac{(0.189)^2}{(0.136 \text{ m} + (17 - 1) * 0.003 \text{ m}} = 0.00137 \text{ m}$$

- **Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales**

El valor del Desplazamiento critico ($D_{crit.}$) debe ser mayor al desplazamiento de diseño que exige el reglamento es decir se debe cumplir la condición: Capacidad > Demanda.

Dada una carga máxima P y una carga crítica P_{crit} . Se calcula el desplazamiento lateral admisible normalizado (d) de la siguiente manera:

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{P}{P_{crit.}} \right)^{\frac{4}{3}}$$

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{13182.976 \text{ KN}} \right)^{\frac{4}{3}} = 0.689$$

Una vez calculado el desplazamiento lateral admisible normalizado (d) se calcula la capacidad de desplazamiento lateral ($D_{crit.}$).

$$D_{crit.} = d * 2 * R$$

$$D_{crit.} = 0.689 * 2 * 0.35 \text{ m} = 0.482 \text{ m}$$

$$D_{crit.} > D_D$$

$$0.482 \text{ m} > 0.189 \text{ m ok}$$

Luego se determina el ángulo θ el cual es el ángulo medio subtendido al centro de la intersección del círculo superior e inferior. (Neim y Kelly 1999)

$$d = \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} d$$

$$\theta = \cos^{-1} 0.689 = 46.449^\circ$$

$$\theta = \frac{46.449^\circ * \pi}{180} = 0.811 \text{ radianes}$$

Luego se calcula el Área Normalizada (a) y el Área Reducida

$$a = \frac{2}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$a = \frac{2}{\pi} [(0.811) - \sin(0.811) * \cos(0.811)] = 0.198$$

$$a = \frac{A_r}{\pi R^2}$$

$$A_r = a\pi R^2$$

$$A_r = 0.198 * \pi * (0.35)^2 = 0.076 m^2$$

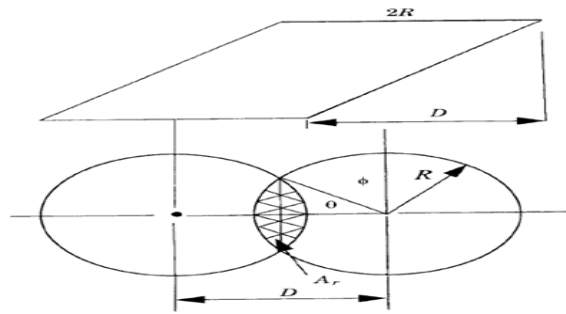


Figura D1.1: Notación de área reducida

- **Desplazamiento Máximo**

Según el libro de Naeim y Kelly "DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES" se requiere recalcular el periodo y amortiguamiento en el máximo sismo. El Módulo por Deformación a Cortante se incrementa al 20% y el amortiguamiento efectivo disminuye a 1%.

$$G = 400 \text{ KN/m}^2 * 1.20 = 480 \text{ KN/m}^2$$

$$\beta_{eff} = 15\% - 1\% = 14\%$$

- Rigidez total del sistema y de cada aislador

$$K_H = \frac{G * A}{H_r}$$

$$K_H = \frac{480 \text{ KN/m}^2 * 0.377 \text{ m}^2}{0.136 \text{ m}} = 1330.588 \text{ KN/m}$$

$$K_p = K_{p1} * N$$

$$K_{HTOTAL} = 1330.588 \text{ KN/m} * 54 = 71851.752 \text{ KN/m}$$

➤ Coeficiente de Amortiguamiento

El coeficiente de amortiguamiento se obtuvo según la Tabla 17.5.1 del ASCE 7-10. Para un Amortiguamiento Efectivo del 14% el coeficiente β_D es igual a 1.32 cuyo valor es obtenido de la tabla usando interpolación lineal.

$$Y_x = Y_0 + \left(\left(\frac{X - X_0}{X_1 - X_0} \right) * (Y_1 - Y_0) \right)$$

$$Y_x = \beta_D, Y_0 = 1.2, Y_1 = 1.5, X = 14, X_0 = 10, X_1 = 20$$

$$Y_x = 1.2 + \left(\left(\frac{14 - 10}{20 - 10} \right) * (1.5 - 1.2) \right) = 1.32$$

➤ Periodo de Diseño

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{g * K_{eff}}}$$

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/s}^2 * 71851.752 \text{ KN/m}}} = 2.44 \text{ seg}$$

➤ Con estos datos conocidos se calcula el Desplazamiento Máximo

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 \beta_M}$$

Dónde:

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

S_{M1} : Aceleración espectral para un periodo de 1 seg

T_M : Periodo de Diseño del sistema de aislacion

β_M : Coeficiente de Amortiguamiento efectivo

$$D_M = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 * 0.62 * 2.44 \text{ seg}}{4\pi^2 * 1.32} = 0.285 \text{ m}$$

- **Fuerzas laterales minimas para un sistema de aislamiento.**

➤ **Fuerza lateral por debajo del sistema de aislamiento (V_b)**

El sistema de aislamiento, la fundación, y todos los elementos estructurales por debajo del sistema de aislamiento serán diseñado y construido para soportar una fuerza sísmica lateral mínima , V_b , utilizando todos los requisitos apropiados para una estructura no aislada y el cual esta prescrita por la ecuación. 17,5-7 del ASCE 7 -10:

$$V_b = K_{Dmax} * D_D$$

$$K_{Dmax} = K_{HTOTAL}$$

$$V_b = 59876.496 \text{ KN/m} * 0.189 \text{ m} = 11316.658 \text{ KN}$$

Dónde:

K_{Dmax} : Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación

D_D : Desplazamiento de diseño

➤ **Fuerza lateral por encima del sistema de aislamiento (V_s)**

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_1}$$

$$V_s = \frac{59876.496 \text{ KN/m} * 0.189 \text{ m}}{2} = 5658.329 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento ASCE7-10 Sección 17.5.4.3.**

Para calcular la Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento se necesita de la Fuerza de fluencia del sistema.

$$F_{Ysist.} = F_Y * N$$

Dónde:

F_Y : Fuerza de fluencia de cada aislador

N : Numero de aisladores

$$F_{Ysist.} = 64.902 \text{ KN} * 54 = 3504.708 \text{ KN}$$

La Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento es igual a:

$$V_i = 1.5 * F_{Ysist.}$$

$$V_i = 1.5 * 3504.708 \text{ KN} = 5257.062 \text{ KN}$$

Para la revisión del inciso C se procede a revisarlo por dos criterios por el ASCE 7-10 y el RNC 07.

➤ **Fuerza sísmica lateral según la Sección 12.8 del ASCE 7-10**

El cortante en la base sísmica, V , en una dirección dada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = C_s * W$$

Dónde:

C_s = Coeficiente sísmico determinado de acuerdo a la ecuación 12-8-2 del ASCE 7-10.

W =Peso de la estructura.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

Dónde:

S_{DS} : Aceleración para el sismo de Diseño para periodos cortos (S_{DS})

R : Factor que depende del tipo de sistema fuerza-resistencia sísmica utilizado para la estructura encima del sistema de aislamiento y será de tres octavos del valor de R dada en la Tabla 12.2-1 del ASCE 7-10, con un valor máximo no mayor que 2.0 y un mínimo valor no inferior a 1.0.

I_e : Factor de importancia de acuerdo a la sección 11.5.1 del ASCE7-10.

Según la tabla 1.5.2 del ASCE7-10 el factor de importancia sísmica para el tipo de categoría de riesgo II es igual a 1 por lo tanto:

$$C_s = \frac{1.21}{\frac{2}{1}} = 0.605$$

El valor de C_s calculado de acuerdo a la ecuación anterior no debe exceder a las ecuaciones siguientes:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad T \leq T_L$$

$$C_s = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad T \geq T_L$$

Según el ASCE 7-10 T_L se considera como un periodo largo de transición, es por eso que se asume que $T \leq T_L$, siendo el coeficiente sísmico igual a

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Dónde:

S_{D1} : Aceleración para el sismo de Diseño para periodos de 1 segundo (S_{D1})
ASCE 7-10 Sección 11.4.4.

T : Periodo objetivo de la estructura

$$C_s = \frac{0.41}{2.67(2)} = 0.077$$

El coeficiente sísmico calculado con la ecuación 12-8-2 del ASCE 7-10 excede al calculado anteriormente, por lo tanto el coeficiente sísmico será igual a 0.077.

Una vez definido el coeficiente sísmico se calcula la Fuerza sísmica

$$V = 0.077 * 106013.932 \text{ KN} = 8163.073 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la norma RNC- 07**

Como el periodo deseado de la estructura es igual a 2.67 seg, entonces:

$$a = Sd \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2$$

$$a = 1.5 * 0.31 * 2.7 * \left(\frac{0.6}{2} \right) \left(\frac{2}{2.67} \right)^2 = 0.211$$

El coeficiente sísmico será igual a:

$$c = \frac{a}{\Omega * Q}$$

$$c = \frac{0.211}{2 * 1.6} = 0.066$$

Para el cálculo de la fuerza sísmica se utiliza la ecuación 13 del RNC.

$$F_{Si} = \frac{a}{\Omega * Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

$$F_{Si} = 0.066 * 106013.932 \text{ KN} = 6996.920 \text{ KN}$$

La Fuerza sísmica que debe utilizarse para el diseño será la calculada según el Reglamento ASCE7-10 sección 12.8, ya que esta resulto ser mayor a las demás.

➤ **Desplazamiento Total de Diseño y Desplazamiento Total Máximo**

Según la sección 17.5.3.5 del ASCE 7 -10 El desplazamiento total de diseño, D_{TD} , y el desplazamiento total máximo, D_{TM} , de los elementos del sistema de aislamiento deberá incluir el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental calculado a partir de la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislamiento y la más desventajosa ubicación de masa excéntrica.

El desplazamiento total de diseño, D_{TD} , y el total desplazamiento máximo, D_{TM} , de elementos de un sistema de aislamiento con distribución espacial uniforme de

rigidez lateral no se tomará como menor que prescrito por las ecuaciones. 17,5-5 y 17,5-6 del ASCE 7-10.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right] \text{ Ecu. 17.5.5}$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right] \text{ Ecu. 17.5.6}$$

Dónde:

-d: distancia de la dirección más larga del sistema

- b: distancia de la dirección más corta del sistema

- y: distancia, entre el centro de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés. (Aislador más alejado medido perpendicularmente a la dirección del sismo considerado)

-e: excentricidad real medida entre el centro de masa de la estructura por encima de la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento, más una excentricidad accidental tomada como el 5 por ciento de la dimensión en planta más larga de la estructura perpendicular a la dirección de la fuerza que se examina.

- D_D : desplazamiento de diseño en el centro de rigidez del sistema de aislamiento en la dirección bajo consideración según lo prescrito por la Ecu. 17,5-1 del ASCE 7-10.

$$D_D = \frac{g S D_1 T_D}{4 \pi^2 \beta_D}$$

- D_M : desplazamiento máximo en el centro de rigidez del sistema de aislamiento en la dirección bajo consideración según lo prescrito por la ecuación 17,5-3 del ASCE 7-10.

$$D_M = \frac{g S M_1 T_M}{4 \pi^2 \beta_M}$$

EXCEPCIÓN: El desplazamiento total de diseño, D_{TD} , y el desplazamiento total máximo, D_{TM} , son permitidos a ser tomados como menor que el valor prescrito por las ecuaciones. 17,5-5 17,5-6 y, respectivamente, pero no menor de 1,1 veces D_D y D_M , respectivamente, siempre que el sistema de aislamiento se muestra por cálculo a ser configurado para resistir la torsión en consecuencia.

Nuestro edificio cuenta con los siguientes datos:

Dimensión en planta de la estructura en la dirección X=51.5m

Dimensión en planta de la estructura en la dirección Y=31.720m

d=51.5m

b=34.3m

La dirección del sismo considerado será en el eje X por lo tanto:

y=17.15m

Excentricidad real: 0.04 m

Excentricidad accidental=0.05*34.3=1.715m

e: Excentricidad real más Excentricidad accidental

Desplazamiento de diseño $D_D = 0.189 \text{ m}$

Desplazamiento Máximo $D_M = 0.285 \text{ m}$

Con estos datos se procede a calcular el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TD} = 0.189 \text{ m} \left[1 + 17.15 * \frac{12 * (0.04 \text{ m} + 1.715 \text{ m})}{(34.3\text{m})^2 + (51.5\text{m})^2} \right] = 0.21\text{m}$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TM} = 0.285 \text{ m} \left[1 + 17.15 * \frac{12 * (0.04 \text{ m} + 1.715 \text{ m})}{(34.3 \text{ m})^2 + (51.5 \text{ m})^2} \right] = 0.31 \text{ m}$$

El desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo se pueden tomar menores a los desplazamientos calculados anteriormente, pero no menores que 1.1 veces D_d ni 1.1 veces D_m , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión.

$$1.1D_D = 1.1 * 0.189 \text{ m} = 0.21 \text{ m}.$$

$$1.1D_D = D_{TD} \text{ ok}$$

$$1.1D_M = 1.1 * 0.284 \text{ m} = 0.31 \text{ m}$$

$$1.1D_M = D_{TM} \text{ ok}$$

➤ Deformación Cortante Máxima

Se calcula la deformación angular máxima, la cual debe ser menor a la deformación máxima aceptable para asegurar que el aislador soporte el caso de un sismo de gran magnitud.

Los Datos necesarios para el cálculo de las Deformaciones Angulares se muestran en la siguiente tabla.

Dureza IRHD±2	Módulo de Young E (MPa)	Módulo de cortante G (MPa)	Constante del Material K	Elongación a la ruptura mínima %
37	1.35	0.40	0.87	650
40	1.50	0.45	0.85	600
45	1.80	0.54	0.80	600
50	2.20	0.64	0.73	500
55	3.25	0.81	0.64	500
60	4.45	1.06	0.57	400

Tabla D1.3: Tabla para hallar la deformación angular máxima.

Para un Módulo de Cortante igual a 0.40 MPa el cual fue definido en los datos de entrada, se tienen los siguientes datos:

$$E=1.35 \text{ MPa} \quad k=0.87 \quad \varepsilon_u = 650 \%$$

La deformación total se limita a la elongación final a la rotura del elastómero dividido por el factor de seguridad apropiado a la condición de carga. La Deformación Angular de Corte es:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{D_{TD}}{H_r}$$
$$\varepsilon_{sh} = \frac{0.21 \text{ m}}{0.136 \text{ m}} = 1.544$$

La Deformación Angular de Compresión se calcula como:

$$\varepsilon_{sc} = 6S\varepsilon_c$$

Dónde:

S : Factor de Forma

ε_c : Deformación axial media de la capa del elastómero

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E[1 + 2kS^2]}$$
$$\varepsilon_c = \frac{6012.516 \text{ KN}/0.377 \text{ m}^2}{1350 \text{ KN}/\text{m}^2[1 + 2 * 0.87 * (18.75)^2]} = 0.019$$
$$\varepsilon_{sc} = 6 * 18.75 * 0.019 = 2.138$$

Para cargas últimas que incluyen desplazamientos debido a sismo los criterios de deformación limitantes se basan de acuerdo a la siguiente condición:

$$f\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh}$$

Donde $f=0.75$ (Factor de seguridad=1.33)

$$f\varepsilon_u = 0.75 * 6.5 = 4.875$$

$$\varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh} = 2.138 + 1.544 = 3.682$$

$$4.875 > 3.682 \text{ ok.}$$

$$4.876$$

.

D.2. Diseño del aislador con núcleo de plomo (LRB).

A manera de resumen se presenta una Tabla con los datos de entrada para el diseño del aislador LRB.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Modulo de Corte	G	400	KN/m ²
Deformación de cortante	γ_s	1.5	
Esfuerzo de Compresión del Elastómero	σ_{AC}	15000	KN/m ²
Peso Total del Edificio	W	106013.932	KN
Carga Máxima	P_{max}	6012.516	KN
Carga Mínima	P_{min}	195.652	KN
Amortiguamiento Efectivo	β_D	20	%
Periodo de Diseño	T_D	2.5	Seg.
Periodo Máximo	T_M	3	Seg.
Número total de Aisladores	N	54	
Diámetro Inicial	D_i	0.1	m
Espesor propuesto de capa de goma	t_r	0.01	m
Espesor propuesto de láminas de acero	t_s	0.003	m
Espesor propuesto de las placas de anclaje	t_{placa}	0.025	m
Esfuerzo de Fluencia del Acero	σ_Y	250000	KN/m ²
Módulo de Compresibilidad de la goma	K	2000000	KN/m ²
Esfuerzo de Fluencia del Plomo	f_{py}	10000	KN/m ²
Módulo de Compresibilidad del plomo	E_l	14000000	KN/m ²

Tabla D1.4: Datos generales del aislador LRB.

- Aceleración Espectral

Aceleración Mapeada para un periodo corto de 0.2 seg (S_s) y para un periodo de 1 seg (S_1).

$$S_s = 1782 \text{ cm/s}^2$$

$$S_1 = 453 \text{ cm/s}^2$$

Aceleración Mapeada son convertidos a unidades de aceleración en función de la gravedad:

$$S_s = \frac{1782 \text{ cm/seg}^2}{981 \text{ cm/seg}^2} = 1.82 \text{ g}$$

$$S_s = \frac{453 \text{ cm/seg}^2}{981 \text{ cm/seg}^2} = 0.46 \text{ g}$$

Aceleración para el sismo máximo considerado (MCER) para periodos cortos (S_{Ms}) y para periodos de 1 segundo (S_{M1}) ASCE -10, Seccion 11.4.3

$$S_{Ms} = F_a * S_s = 1 * 1.82 = 1.82$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 = 1.34 * 0.46 = 0.62$$

Aceleración para el sismo de Diseño para periodos cortos (S_{Ds}) y para periodos de 1 segundo (S_{D1}) ASCE 7-10 Seccion 11.4.4.

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} * S_{Ms} = \frac{2}{3} * 1.82 = 1.21$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} = \frac{2}{3} * 0.62 = 0.41$$

- **Características Mecánicas del Aislador LRB**

- Coeficiente de Amortiguamiento

Según la tabla 17.5.1 del ASCE 7-10 El coeficiente de amortiguamiento β_d para un amortiguamiento efectivo del sistema del 20% es igual a 1.5.

- Desplazamiento de Diseño

$$D_D = \frac{9.81 \text{ cm/seg}^2 * 0.41 * 2.5 \text{ Seg.}}{4\pi^2 * 1.5} = 0.170 \text{ m}$$

- Rigidez Total del Sistema

$$K_{HTotal} = \frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/s}^2} * \left(\frac{2\pi}{2.5 \text{ Seg.}} \right)^2 = 68261.158 \text{ KN/m}$$

- Rigidez de cada aislador

$$K_H = \frac{K_{HTotal}}{N} = \frac{68261.158 \text{ KN/m}}{54} = 1264.096 \text{ KN/m}$$

- Energía Disipada por ciclo del sistema

$$W_D = 2\pi K_{eff} D_d^2 \times \beta_{eff}$$

$$K_{eff} = K_{HTotal}$$

Dónde:

K_H : Rigidez Horizontal del aislador

D_D : Desplazamiento de Diseño

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo

$$W_D = 2 * \pi * 68261.158 \text{ KN/m} * (0.170)^2 * 0.20 = 2479.028 \text{ KN.m}$$

➤ Fuerza Característica Preliminar

Como regla general K_1 es aproximadamente igual a $10K_2$

Despreciando el valor de D_Y , tendremos una primera aproximación de la fuerza característica (Q).

$$Q = \frac{W_D}{4 * D_D}$$

Dónde:

W_D : Energía Disipada por ciclo

D_D : Desplazamiento de Diseño

$$Q = \frac{2479.028 \text{ KN.m}}{4 * 0.170 \text{ m}} = 3645.629 \text{ KN}$$

➤ Rigidez Post-Fluencia del sistema

$$K_2 = K_{HTotal} - \frac{Q}{D_D}$$

$$K_2 = 68261.158 \text{ KN/m} - \frac{3645.629 \text{ KN}}{0.170 \text{ m}} = 46816.282 \text{ KN/m}$$

- Desplazamiento de Fluencia

$$D_Y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$$

Siendo $K_1=10K_2$ y sustituyendo K_1 por K_2 D_Y sera igual a:

$$D_Y = \frac{Q}{9K_2}$$

$$D_Y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{3645.629 \text{ KN}}{9 * 46816.282 \text{ KN/m}} = 0.009 \text{ m}$$

- Corrección de la Fuerza Característica

Se corrige la primera aproximacion de Q tomando en cuenta el valor de D_Y .

$$Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_Y)}$$

$$Q = \frac{2479.028 \text{ KN.m}}{4(0.170 - 0.009)} = 3849.422 \text{ KN}$$

- **Área de plomo requerida**

- Altura Total de la Goma.

$$H_r = \frac{0.170 \text{ m}}{1.5} = 0.11 \text{ m}$$

➤ Área del aislador

$$A = \frac{K_H * H_r}{G}$$

$$A = \frac{1264.096 \text{ KN/m} * 0.11 \text{ m}}{400 \text{ KN/m}^2} = 0.348 \text{ m}^2$$

➤ Diámetro externo del aislador

El Diámetro inicial (D_i) suele ser por lo general de 0.10 m.

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * 0.348 \text{ m}^2}{\pi} + (0.10 \text{ m})^2} = 0.673 \text{ m}$$

➤ Área del Plomo

El valor preliminar de Q permite hacer el cálculo del área del plomo necesaria para esto se dice que la fluencia del plomo es $f_{ypb} = 1450 \text{ psi} = 10 \text{ MPa}$ el área del plomo está dada por la siguiente ecuación.

$$A_{pb} = \frac{Q}{f_{ypb}}$$

$$A_{pb} = \frac{3850.884 \text{ KN}}{10000 \text{ KN/m}^2} = 0.385 \text{ m}^2$$

- Área del plomo para cada aislador.

$$A_{pb1} = \frac{A_{pb}}{N}$$

$$A_{pb1} = \frac{0.385 \text{ m}^2}{54} = 0.007 \text{ m}^2$$

- Diámetro del plomo.

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * 0.007 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.09 \text{ m}$$

Dentro de la filosofía de diseño de los aisladores con núcleo de plomo se dice que el núcleo de plomo no debe ser ni muy delgado ni muy ancho en relación al diámetro del caucho, se recomiendan diámetros que oscilen entre 15%-25% del diámetro del caucho.

$$0.15D_e \leq D_p \leq 0.25D_e$$

$$0.15 * D_e = 0.15 * 0.673 \text{ m} = 0.10 \text{ m}$$

$$0.25 * D_e = 0.25 * 0.673 \text{ m} = 0.17 \text{ m}$$

$$0.10 \text{ m} \leq 0.09 \text{ m} \leq 0.17 \text{ m} \text{ No cumple.}$$

Si el diámetro de núcleo de plomo resultara menor al 15% y 25% del diámetro externo, se optaría un diámetro de núcleo de plomo igual a $0.15 * D_e$, si el diámetro de núcleo de plomo resultara mayor al 15 y 25% del diámetro externo se optaría un diámetro de núcleo de plomo igual a $0.25 * D_e$. En nuestro caso el diámetro del núcleo de plomo no se encuentra entre el 15% y el 25% por lo tanto el diámetro a utilizar es igual a 0.1m.

- Área del plomo para cada aislador en función del diámetro a utilizar

$$A_{P1} = \frac{\pi * D_p^2}{4}$$

$$A_{P1} = \frac{\pi * (0.1m)^2}{4} = 0.008 m^2$$

- Fuerza Características del Sistema.

$$Q_D = A_{P1} * f_{py} * N$$

$$Q_D = 0.008 m^2 * 10000 KN/m^2 * 54 = 4320 KN$$

- **Corrección de la Propiedades Mecánicas y Dimensionamiento del Aislador**

- Rigidez de post-fluencia del Sistema.

Se retoma el valor de la primera aproximación corregida de Q el cual resulto igual a 3849.422 KN , con este valor se vuelve a calcular la rigidez de post-fluencia del sistema la cual es asumida por la goma.

$$K_2 = 68261.158 KN/m - \frac{3849.422 KN}{0.170 m} = 45617.499 KN/m$$

- Rigidez de post-fluencia de cada aislador.

$$K_{2c/a} = \frac{K_2}{N} = \frac{45617.499 KN/m}{54} = 844.768 KN/m$$

➤ Recalculo del área del aislador

Para calcular el Área del Aislador se usa el valor del módulo de cortante G, el valor de la altura del caucho y se usa el valor de la rigidez anterior para cada aislador.

$$A_1 = \frac{K_{2c/a} * H_r}{G}$$

$$A_1 = \frac{844.768 \text{ KN/m} * 0.11 \text{ m}}{400 \text{ KN/m}^2} = 0.232 \text{ m}^2$$

➤ Diámetro del aislador

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi} + D_p^2}$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * 0.232 \text{ m}^2}{\pi} + (0.1 \text{ m})^2} = 0.553 \text{ m}$$

Existe Otra forma de calcular el Área del aislador el cual está en función del esfuerzo de compresión:

$$A_2 = \frac{P_{max}}{\sigma_{AC}}$$

Donde:

P_{max} : Carga máxima de la estructura

σ_{AC} : Esfuerzo de compresión del elastómero

$$A_2 = \frac{6012.516 \text{ KN}}{15000 \text{ KN/m}^2} = 0.401 \text{ m}^2$$

➤ Diámetro del aislador

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * 0.401 \text{ m}^2}{\pi} + (0.1 \text{ m})^2} = 0.722 \text{ m}$$

Se escoge el diámetro más adecuado del aislador (D_e) entre el calculado con área según el esfuerzo de compresión y el calculado con el área según el módulo de cortante, la rigidez y la altura del caucho, luego con el diámetro elegido se determina el área definitiva del aislador. En este caso el diámetro mayor resulto ser de 0.722 m que será aproximadamente igual a un diámetro comercial de 0.70 m y será el diámetro a utilizar en el diseño.

➤ Área definitiva del aislador

$$A = \frac{\pi * (D_e)^2}{4} - \frac{\pi * (D_p)^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (0.70 \text{ m})^2}{4} - \frac{\pi * (0.1 \text{ m})^2}{4} = 0.377 \text{ m}^2$$

➤ Factor de Forma

Para el cálculo del Factor de Forma se asume un espesor de goma (t_r) el cual es obtenido a base de la experiencia o a través de la información que ofrece el fabricante, dicho espesor se debe verificar si es adecuado mediante el cálculo de las deformaciones angulares.

$$S_{LRB} = \frac{D_e^2 - D_p^2}{4 * D_e * t_r}$$

$$S_{LRB} = \frac{(0.7 \text{ m})^2 - (0.1 \text{ m})^2}{4 * 0.7 \text{ m} * 0.01 \text{ m}} = 17.143$$

➤ Número de capas de Goma

$$n_{\text{capas de goma}} = \frac{H_r}{t_r}$$

$$n_{\text{capas de goma}} = \frac{0.11 \text{ m}}{0.01} = 11 \text{ capas de goma}$$

➤ Número de láminas de acero

$$n_{\text{laminas de acero}} = n_{\text{capas de goma}} - 1$$

$$n_{\text{laminas de acero}} = 11 - 1 = 10 \text{ laminas de acero}$$

➤ Altura Total del aislador

$$H_T = (n - 1) * t_s + 2 * t_{\text{placas}}$$

$$H_r = n * t_r = 11 * 0.01 = 0.11 \text{ m}$$

$$H_T = 0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 + 2 * 0.025 = 0.19 \text{ m}$$

➤ Rigidez de post-fluencia del aislador

Se retoma el valor del área definitiva del aislador para recalcular la rigidez de post-fluencia del aislador el cual corresponde a la rigidez asumida por la goma.

$$K_{r1} = \frac{G * A}{H_r}$$

$$K_{r1} = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.377 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m}} = 1370.909 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez efectiva del sistema

Para el cálculo de la rigidez efectiva se toma el valor de la fuerza característica corregida (Q_D) .

$$k_{eff} = N * K_{r1} + \frac{Q_D}{D_D}$$

$$k_{eff} = 54 * 1370.909 \text{ KN/m} + \frac{4320 \text{ KN}}{0.170 \text{ m}} = 99440.851 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez efectiva del sistema para cada aislador

$$k_{eff1} = \frac{k_{eff}}{N}$$

$$k_{eff1} = \frac{99440.851 \text{ KN/m}}{54} = 1841.497 \text{ KN/m}$$

➤ Recalculo del desplazamiento de fluencia

Se recalcula el Desplazamiento de fluencia con el valor de la Fuerza característica Q_D .

$$D_Y = \frac{Q_D}{9 * K_{r1} * N}$$

$$D_Y = \frac{4320 \text{ KN}}{9 * 1370.909 \text{ KN/m} * 54} = 0.006 \text{ m}$$

- Recalculo de la Energía disipada por ciclo

$$W_D = (4)(Q_D)(D_D - D_Y)$$

$$W_D = (4)(4320 \text{ KN})(0.170\text{m} - 0.006\text{m}) = 2833.92 \text{ KN.m}$$

- Amortiguamiento Efectivo

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \pi * K_{eff} * D^2}$$

$$\beta = \frac{2833.92 \text{ KN.m}}{2 * \pi * 99440.851 \text{ KN/m} * (0.170 \text{ m})^2} = 0.16 * 100 = 16 \%$$

- **Otras propiedades mecánicas**

- Módulo de Elasticidad considerando compresibilidad del caucho

Para calcular este parámetro se requiere del módulo de compresibilidad de la goma (K) el cual por lo general es igual a 2000000 KPa

$$E_{CLRB} = \left(\frac{1}{6 * G * S_{LRB}^2} + \frac{4}{3 * K} \right)^{-1}$$

$$E_{CLRB} = \left(\frac{1}{6 * 400\text{KN/m}^2 * 17.143^2} + \frac{4}{3 * 2000000\text{KN/m}^2} \right)^{-1} = 479738.92 \text{ KN/m}^2$$

➤ Rigidez Vertical

Para calcular este parámetro se requiere el módulo de compresión del plomo(E_l) el cual por lo general es igual a 14000000 KPa.

$$K_{vLRB} = \frac{E_{cLRB} * A}{H_r} + \frac{E_l * A_{p1}}{H_r + (n - 1) * t_s}$$

$$K_{vLRB} = \frac{479738.92 \text{ KN/m}^2 * 0.377 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m}} + \frac{14000000 \text{ KN/m}^2 * 0.008 \text{ m}^2}{0.11 + (11 - 1) * 0.003} = 2444196.117 \text{ KN/m}$$

➤ Rigidez de Pre-Fluencia del aislador

$$K_1 = \frac{Q_D}{D_y * N} + K_{r1}$$

$$K_1 = \frac{4320 \text{ KN}}{0.006 \text{ m} * 54} + 1370.909 \text{ KN/m} = 14704.242 \text{ KN/m}$$

➤ Fuerza de Fluencia

$$F_Y = K_1 * D_y$$

$$F_Y = 14704.242 \text{ KN/m} * 0.006 \text{ m} = 88.225 \text{ KN}$$

➤ Periodo de Diseño

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{g * K_{eff}}}$$

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2 * 99440.851 \text{ KN/m}}} = 2.07 \text{ seg}$$

- **Tensión de las láminas de Acero**

➤ Esfuerzo de trabajo de las láminas de acero

$$\sigma_S = 1.5 * \frac{t_r}{t_s} * \sigma_{AC}$$

$$\sigma_S = 1.5 * \frac{0.01m}{0.003m} * 15000 \text{ KN/m}^2 = 75000 \text{ KN/m}^2$$

➤ Esfuerzo admisible del acero

$$\sigma_{adm} = 0.75 * \sigma_Y$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 * 250000 \text{ KN/m}^2 = 187500 \text{ KN/m}^2$$

$$75000 \text{ KN/m}^2 < 187500 \text{ KN/m}^2 \text{ ok}$$

- **Verificación al Pandeo**

➤ Inercia del Aislador

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_p}{2} \right)^4 \right]$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{0.7 \text{ m}}{2} \right)^4 - \left(\frac{0.12 \text{ m}}{2} \right)^4 \right] = 0.012 \text{ m}^4$$

- Carga de Pandeo del aislador

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_C * I}{3 * h^2} * \frac{h}{H_r}$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 479738.92 \text{ KN/m}^2 * 0.012 \text{ m}^4}{3 * [0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}]^2} * \frac{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 1229826.846 \text{ KN}$$

- Área de Cortante Efectiva

$$A_S = 0.377 * \frac{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 0.480 \text{ m}^2$$

- Rigidez de cortante efectiva

$$P_S = G * A_S$$

Dónde:

G :Modulo de Rigidez de Cortante

A_S : Area de Cortante efectiva

$$P_S = 400 \text{ KN/m}^2 * 0.480 \text{ m}^2 = 192 \text{ KN}$$

- Carga critica

$$P_{Crit.} = \sqrt{P_S} * \sqrt{P_E}$$

Dónde:

P_S : Rigidez de cortante efectiva

P_E : Carga de Pandeo de Euler del aislador

$$P_{Crit.} = \sqrt{192 \text{ KN}} * \sqrt{1229826.846 \text{ KN}} = 15366.416 \text{ KN}$$

- Factor de seguridad de Pandeo

$$F.S = \frac{P_{Crit.}}{P_{max}}$$

$$F.S = \frac{15366.416 \text{ KN}}{6012.516 \text{ KN}} = 2.56 > 2 \text{ ok}$$

- **Influencia de la carga Vertical en la Rigidez Horizontal**

- Rigidez Horizontal Reducida

$$K_H = \frac{GA_S}{h} \left[1 - \left(\frac{P}{P_{Crit.}} \right)^2 \right]$$

$$K_H = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.480 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}} \left[1 - \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{15366.416 \text{ KN}} \right)^2 \right] = 1161.467 \text{ KN/m}$$

- Desplazamiento hacia abajo del aislador

$$\delta_V = \left(\frac{P}{P_{Crit.}} \right) \sqrt{\frac{P_S}{P_E} \frac{D_D^2}{h}}$$

$$\delta_V = \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{15366.416 \text{ KN}} \right) \sqrt{\frac{192 \text{ KN}}{1229826.846 \text{ KN}}} * \frac{(0.170)^2}{[(0.11 \text{ m}) + (11 - 1) * (0.003 \text{ m})]} = 0.00101 \text{ m}$$

➤ **Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales**

➤ Desplazamiento Critico

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{P}{P_{crit.}} \right)^{\frac{4}{3}}$$

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{15366.416 \text{ KN}} \right)^{\frac{4}{3}} = 0.747$$

$$D_{crit} = d * 2 * R$$

$$D_{crit} = 0.747 * 2 * 0.35 \text{ m} = 0.523 \text{ m}$$

$$D_{crit} > D_D$$

$$0.523 \text{ m} > 0.170 \text{ m ok}$$

➤ Angulo medio subtendido al centro de la intersección del círculo superior e inferior.

$$d = \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} d$$

$$\theta = \cos^{-1} 0.747 = 41.669^\circ$$

$$\theta = \frac{41.669^\circ * \pi}{180} = 0.727 \text{ radianes}$$

➤ Área Normalizada (a)

$$a = \frac{2}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$a = \frac{2}{\pi} [(0.727) - \sin(0.727) * \cos(0.727)] = 0.147$$

➤ Área Reducida

$$a = \frac{A_r}{\pi R^2}$$

$$A_r = a\pi R^2$$

$$A_r = 0.147 * \pi * (0.35m)^2 = 0.057 m^2$$

➤ Desplazamiento Máximo

Se calculan todos los parámetros para el Desplazamiento Máximo para esto primeramente se debe suponer que el Desplazamiento de Diseño es multiplicado por un factor M_M el cual se obtiene según lo establecido en la Norma UBC 97.

1. Se ubica el valor de Zona Z y se determina el factor a través de la siguiente Tabla:

Factor Z					
Zona	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.2	0.3	0.4

Tabla D1.5: Factor de zona Z según la norma UBC 97.

En nuestro caso escogeremos la zona 3 cuyo factor es igual a 0.3

2. Se ubica la Magnitud Sísmica y el índice de deriva promedio Anual para determinar la fuente sísmica.

Tabla1.Tipo de Fuente Sísmica			
Fuente Sísmica	Descripción de la Fuente Sísmica	Definición de la fuente	
		Maxima Magnitud	Tasa de actividad sísmica
A	Fallas capaces de producir sismos de gran magnitud y tienen una alta tasa de actividad sísmica.	$M \geq 7$	$ID > 5$
B	Cualquier falla que no sea A o C	$M < 7$ $M \geq 6.5$	$ID < 5$ $ID > 2$
C	Fallas que son capaces de producir sismos de magnitud moderada y tienen una baja tasa de actividad sísmica	$M < 6.5$	$ID < 2$

Tabla D1.6: Tipo de fuente sísmica, según la norma UBC 97.

Para este caso se eligió la magnitud sísmica del terremoto de 1972 en Managua el cual es de 6.24 con una índice de deriva igual a 2, clasificando así el tipo la fuente sísmica como C.

3. Se determina el Factor N_v a través del tipo de fuente sísmica y la distancia más cercana a la fuente sísmica. Las fallas sísmicas están agrupadas en categorías basadas en la gravedad del peligro que representan, fallas capaces de producir terremotos de gran magnitud ($M > 7$) y tienen una alta tasa de actividad sísmica son clasificadas como tipo de fuente A, las fallas capaces de producir terremotos de magnitud moderada y tienen una baja tasa de actividad sísmica se clasifican como tipo de fuente C. Todas las fallas que no sean de tipo A y C se clasifican como B.

Tabla2.Factor N_v				
Tipo de Fuente Sísmica	Distancia mas cercana a la Fuente Sísmica			
	$\leq 2\text{Km}$	5kM	10Km	$\geq 15\text{Km}$
A	2	1.6	1.2	1
B	1.6	1.2	1	1
C	1	1	1	1

Tabla D1.7: Factor N_v , según la norma UBC 97.

Para nuestro caso la distancia más cercana a la fuente es menor a los 2 Km, con una fuente sísmica Tipo C, determinando así el factor N_v que es igual a 1.

4. Se determina el factor M_M a través del producto $Z \cdot N_v$.

$$Z \cdot N_v = 0.3 \cdot 1 = 0.3$$

Factor M_M	
$Z \cdot N_v$	M_M
0.075	2.67
0.15	2
0.2	1.75
0.3	1.5
0.4	1.25
≥ 0.5	1

Tabla D1.8: Factor M_M , según la norma UBC 97.

Según la tabla anterior para un valor de $Z \cdot N_v$ igual a 0.3 le corresponde un valor de M_M igual a 1.5

Con este factor M y con el Desplazamiento de Diseño calculado con anterioridad se determina el Desplazamiento Máximo Preliminar:

$$D_M = 1.5 \cdot 0.170 = 0.255m$$

Con el valor de Desplazamiento Máximo preliminar, con $K_r = 1675.294 \text{ KN/m}$, con $Q = 2800 \text{ KN}$ se calcula la Rigidez Efectiva del Sistema

$$k_{eff} = N \cdot K_{r1} + \frac{Q_D}{D_M}$$

$$k_{eff} = 54 \cdot 1370.909 \text{ KN/m} + \frac{4320 \text{ KN}}{0.255 \text{ m}} = 90970.262 \text{ KN/m}$$

Se recalcula un Desplazamiento de Fluencia con el valor de la fuerza característica Q del sistema.

$$D_Y = \frac{Q_D}{9 * K_{r1} * N}$$

$$D_Y = \frac{4320 \text{ KN}}{9 * 1370.909 \text{ KN/m} * 54} = 0.006 \text{ m}$$

Se recalcula la energía disipada por ciclo (W_D):

$$W_D = (4)(Q_D)(D_M - D_Y)$$

$$W_D = (4)(4320 \text{ KN})(0.255\text{m} - 0.006\text{m}) = 4320.72 \text{ KN.m}$$

Con el valor que resulte de la ecuación anterior se calcula un amortiguamiento (β) el cual servirá para calcular el Desplazamiento máximo real.

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \pi * K_{eff} D_D^2}$$

$$\beta = \frac{4320.72 \text{ KN.m}}{2 * \pi * 90970.262 \text{ KN/m} * (0.255\text{m})^2} = 0.12 = 12\%$$

Se determina el coeficiente de amortiguamiento (B_M) a través de Tabla 17.5.1 del ASCE 7-10. Para un Amortiguamiento efectivo del 12% el coeficiente de amortiguamiento es igual a 1.26.

Se calcula el Periodo el cual está en función de la masa (M) Y de la Rigidez Efectiva.

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{106054.179 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2 * 90970.262 \text{ KN/m}}} = 2.17 \text{ seg}$$

Con los datos que se obtengan con las ecuaciones anteriores se calcula el Desplazamiento Máximo Real.

$$D_M = \frac{g * SM_1 * T_M}{4\pi^2 \beta_M}$$

$$D_M = \frac{9.81 \text{ m/seg}^2 * 0.62 * 2.17 \text{ seg}}{4\pi^2 * 1.26} = 0.265 \text{ m}$$

Se corrige el valor de la rigidez efectiva y de la energía disipada por ciclo con el Desplazamiento Máximo Real. Con estos Nuevos Valores se calcula nuevamente el amortiguamiento y el periodo.

$$k_{eff} = 54 * 1370.909 \text{ KN/m} + \frac{4320 \text{ KN}}{0.265 \text{ m}} = 90330.973 \text{ KN/m}$$

$$W_D = (4)(4320 \text{ KN})(0.265 \text{ m} - 0.006 \text{ m}) = 4475.52 \text{ KN.m}$$

$$\beta = \frac{4475.52 \text{ KN.m}}{2 * \pi * 90330.973 \text{ KN/m} * (0.265 \text{ m})^2} = 0.11 = 11\%$$

Según la tabla ASCE7-10 el coeficiente de amortiguamiento es igual a 1.23

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{106054.179 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2 * 90330.973 \text{ KN/m}}} = 2.2 \text{ seg}$$

- **Fuerzas laterales minimas para un sistema de aislamiento**

- **Fuerza lateral por debajo del sistema de aislamiento**

$$V_b = K_{Dmax} * D_D$$

$$K_{Dmax} = K_{HTOTAL}$$

$$V_b = 99440.851 \text{ KN/m} * 0.170 \text{ m} = 16904.945 \text{ KN}$$

Dónde:

K_{Dmax} : Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación

D_D : Desplazamiento de diseño

- **Fuerza lateral por encima del sistema de aislamiento**

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_1}$$

$$V_s = \frac{99440.851 \text{ KN/m} * 0.170 \text{ m}}{2} = 8452.472 \text{ KN}$$

- **Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento ASCE7-10 Sección 17.5.4.3.**

Para calcular la Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento se necesita de la Fuerza de fluencia del sistema

$$F_{Ysist.} = F_Y * N$$

Dónde:

F_Y : Fuerza de fluencia de cada aislador

N : Numero de aisladores

$$F_{Ysist.} = 88.225 \text{ KN} * 54 = 4764.15 \text{ KN}$$

La Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento es igual a:

$$V_i = 1.5 * F_{Ysist.}$$

$$V_i = 1.5 * 4764.15 \text{ KN} = 7146.225 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la Sección 12.8 del ASCE 7-10**

El cortante en la base sísmica, V , en una dirección dada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = C_s * W$$

$$C_s = \frac{0.41}{2.07(2)} = 0.099$$

El coeficiente sísmico calculado con la ecuación 12-8-2 del ACE7-10 excede al calculado anteriormente, por lo tanto el coeficiente sísmico será igual a 0.097.

$$V = 0.099 * 106013.932 \text{ KN} = 10495.379 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la norma RNC- 07**

Como el periodo deseado de la estructura es igual a 2.27 seg, entonces:

$$a = Sd\left(\frac{T_b}{T_c}\right)\left(\frac{T_c}{T}\right)^2$$

$$a = 1.5 * 0.31 * 2.7 * \left(\frac{0.6}{2}\right)\left(\frac{2}{2.07}\right)^2 = 0.352$$

El coeficiente sísmico será igual a:

$$c = \frac{a}{\Omega * Q}$$
$$c = \frac{0.352}{2 * 1.6} = 0.11$$

Para el cálculo de la fuerza sísmica se utiliza la ecuación 13 del RNC 07.

$$F_{Si} = \frac{a}{\Omega * Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

$$F_{Si} = 0.11 * 106013.932 \text{ KN} = 11661.533 \text{ KN}$$

La Fuerza sísmica que debe utilizarse para el diseño será la fuerza sísmica lateral calculada según el Reglamento RNC 07 ya que esta resulto ser de mayor valor.

- **Desplazamiento Total de Diseño y Desplazamiento Total Máximo**

Nuestro edificio cuenta con los siguientes datos:

Dimensión en planta de la estructura en la dirección X=51.5m

Dimensión en planta de la estructura en la dirección Y=34.3m

d=51.5m

b=34.30m

La dirección del sismo considerado será en el eje X por lo tanto:

y=17.15m

Excentricidad real: 0.04 m

Excentricidad accidental=0.05*34.3=1.715m

Desplazamiento de diseño $D_D = 0.170 \text{ m}$

Desplazamiento Máximo $D_M = 0.265 \text{ m}$

Con estos datos se procede a calcular el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TD} = 0.170 \text{ m} \left[1 + 17.15 * \frac{12 * (0.04\text{m} + 1.715)}{(34.3\text{m})^2 + (51.5\text{m})^2} \right] = 0.19 \text{ m}$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TM} = 0.265 \text{ m} \left[1 + 17.15 * \frac{12 * (0.04\text{m} + 1.715)}{(34.3\text{m})^2 + (51.5\text{m})^2} \right] = 0.29 \text{ m}$$

El desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo se pueden tomar menores a los desplazamientos calculados anteriormente, pero no menores que 1.1 veces D_D ni 1.1 veces D_M , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión.

$$1.1D_D = 1.1 * 0.170\text{m} = 0.19\text{m}$$

$$1.1D_D = D_{TD} \text{ ok.}$$

$$1.1D_M = 1.1 * 0.265\text{m} = 0.29\text{m}$$

$$1.1D_M = D_{TM} \text{ ok.}$$

- **Deformación cortante máxima**

Para un Módulo de Cortante igual a 0.40 MPa el cual fue definido en los datos de entrada, se tienen los siguientes datos: $E=1.35 \text{ MPa}$ $k=0.87$ $\varepsilon_u = 650 \%$

La deformación total se limita la elongación final a la rotura del elastómero dividido por el factor de seguridad apropiado a la condición de carga.

La Deformación Angular de Corte es:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{D_{TD}}{H_r}$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{0.19 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 1.727$$

La Deformación de Compresión se calcula como:

$$\varepsilon_{sc} = 6S\varepsilon_c$$

Dónde:

S : Factor de Forma

ε_c : Deformación axial media de la capa del elastómero

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E[1 + 2kS^2]}$$

$$\varepsilon_c = \frac{6012.516/0.377 \text{ m}^2}{1350 \text{ KN/m}^2[1 + 2 * 0.87 * (17.143)^2]} = 0.023$$

$$\varepsilon_{sc} = 6 * 17.143 * 0.023 = 2.366$$

Para cargas últimas que incluyen desplazamientos debido a sismo los criterios de deformación limitantes se basan de acuerdo a la siguiente condición:

$$f\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh}$$

Donde $f=0.75$ (Factor de seguridad=1.33)

$$f\varepsilon_u = 0.75 * 6.5 = 4.875$$

$$\varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh} = 2.366 + 1.727 = 4.093$$

$$4.875 > 4.093 \text{ ok.}$$

D.3. Diseño de aisladores combinados (HDR+LRB)

Datos Generales.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Modulo de Corte	G	400	KN/m ²
Deformación de cortante	γ_s	1.5	
Esfuerzo de Compresión del Elastómero	σ_{AC}	15000	KN/m ²
Peso Total del Edificio	W	106013.932	KN
Carga Máxima	P_{max}	6012.516	KN
Carga Mínima	P_{min}	195.652	KN
Amortiguamiento Efectivo de Aisladores HDR	β_D	15	%
Amortiguamiento Efectivo de Aisladores LRB	β_D	25	%
Periodo de Diseño	T_D	2.5	Seg.
Periodo Máximo	T_M	3	Seg.
Número total de Aisladores	N	54	
Número de Aisladores HDR	N_{HDR}	30	
Número de Aisladores LRB	N_{LRB}	24	
Diámetro Inicial	D_i	0.1	m
Espesor propuesto de capa de goma	t_r	0.01	m
Espesor propuesto de láminas de acero	t_s	0.003	m
Esfuerzo de Fluencia del Acero	σ_Y	250000	KN/m ²
Espesor propuesto de las placas de anclaje	t_{placa}	0.025	m
Módulo de Compresibilidad de la goma	K	2000000	KN/m ²
Esfuerzo de Fluencia del Plomo	f_{py}	10000	KN/m ²
Módulo de Compresibilidad del plomo	E_l	14000000	KN/m ²

Tabla D1.9: Datos generales de la combinación de aisladores HDR + LRB

- Aceleración Espectral

Aceleración Mapeada para un periodo corto de 0.2 seg (S_s) y para un periodo de 1 seg (S_1).

$$S_s = 1782 \text{ cm/s}^2$$

$$S_1 = 453 \text{ cm/s}^2$$

Las Aceleraciones Mapeada son convertidas a unidades de aceleración en función de la gravedad:

$$S_s = \frac{1782 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2} = 1.82 \text{ g}$$

$$S_1 = \frac{453 \text{ cm/s}^2}{981 \text{ cm/s}^2} = 0.46 \text{ g}$$

Aceleración para el sismo máximo considerado (MCER) para periodos cortos (S_{Ms}) y para periodos de 1 segundo (S_{M1}) ASCE -10, Seccion 11.4.3

$$S_{Ms} = F_a * S_s = 1 * 1.82 = 1.82$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 = 1.34 * 0.46 = 0.62$$

Aceleración para el sismo de Diseño para periodos cortos (S_{Ds}) y para periodos de 1 segundo (S_{D1}) ASCE 7-10 Seccion 11.4.4.

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} * S_{Ms} = \frac{2}{3} * 1.82 = 1.21$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} * S_{M1} = \frac{2}{3} * 0.62 = 0.41$$

- **Procedimiento de Diseño de Aisladores Combinados HDR+LRB**

Luego de definir los datos de entrada y de haber calculado la aceleración espectral se procede a calcular las características generales de los aisladores combinados HDR+ LRB.

- **Propiedades Preliminares**

- Amortiguamiento efectivo del sistema

$$\beta = \frac{N^0 \text{ aisladores HDR} * \beta_{HDR} + N^0 \text{ aisladores LRB} * \beta_{LRB}}{\text{Numero total de aisladores}}$$

$$\beta = \frac{24 * 0.15 + 30 * 0.25}{54} = 0.21 = 21\%$$

- Coeficiente de Amortiguamiento

Según la tabla 17.5.2 del ASCE 7-10 para un amortiguamiento efectivo del 21% el coeficiente de amortiguamiento (β_d) será igual a 1.52 cuyo valor fue obtenido mediante interpolación lineal.

- Desplazamiento de Diseño

$$D_D = \frac{9.81m/seg^2 * 0.41 * 2.5}{4\pi^2 * 1.52} = 0.168m$$

- Rigidez Total del Sistema

$$K_{HTotal} = \frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81m/seg^2} * \left(\frac{2\pi}{2.5seg} \right)^2 = 68261.158 \text{ KN/m}$$

- Rigidez para cada Aislador

$$K_H = \frac{68261.158 \text{ KN/m}}{54} = 1264.096 \text{ KN/m}$$

- Altura Total de la Goma.

$$H_r = \frac{0.168m}{1.5} = 0.11m$$

- Área del Aislador

$$A = \frac{K_H * H_r}{G}$$

$$A = \frac{1264.575 \text{ KN/m} * 0.11m}{400 \text{ KN/m}^2} = 0.348 \text{ m}^2$$

- Diámetro

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * 0.348 \text{ m}^2}{\pi} + (0.10m)^2} = 0.673 \text{ m}$$

- Energía Disipada

$$W_D = 2 * \pi * \frac{68261.158 \text{ KN}}{m} * (0.168m)^2 * 0.21 = 2542.093 \text{ KN.m}$$

- Fuerza característica

$$Q = \frac{2542.093 \text{ KN.m}}{4 * 0.168m} = 3782.876 \text{ KN}$$

- Rigidez de Post-Fluencia

$$K_2 = 68261.158 \text{ KN/m} - \frac{3782.876 \text{ KN}}{0.168m} = 45744.039 \text{ KN/m}$$

- Rigidez de Pre-Fluencia

$$K_1 = 10 * K_2$$

$$K_1 = 10 * 45744.039 \frac{KN}{m} = 457440.39 \frac{KN}{m}$$

- Desplazamiento de Fluencia

$$D_Y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$$

Siendo $K_1=10K_2$:

$$D_Y = \frac{3784.312KN}{9 * 457614.06 \text{ KN/m}} = 0.009m$$

- Fuerza característica considerando desplazamiento de fluencia

$$Q_D = \frac{2542.093KN.m}{4(0.168m - 0.009m)} = 3997.002 \text{ KN}$$

- Área del plomo requerida para los aisladores LRB

$$A_{preq} = \frac{3997.002 \text{ KN}}{10000 \text{ KN/m}^2} = 0.400 \text{ m}^2$$

- Área de plomo requerida para un aislador LRB

$$A_p = \frac{0.400 \text{ m}^2}{30} = 0.013 \text{ m}^2$$

- **Diámetro de Núcleo de Plomo**

El Diámetro por núcleo de plomo está dado por:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * 0.013 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.13 \text{ m}$$

$$0.15D_e * \leq D_p \leq 0.25D_e$$

$$0.15 * D_e = 0.15 * 0.669 \text{ m} = 0.10 \text{ m}$$

$$0.25 * D_e = 0.25 * 0.669 \text{ m} = 0.17 \text{ m}$$

$$0.10 \text{ m} \leq 0.13 \text{ m} \leq 0.17 \text{ m ok.}$$

El diámetro de núcleo de plomo se encuentra entre el 15 y 25% del diámetro externo, por lo tanto se optara un diámetro de núcleo de plomo igual a 0.13m.

➤ Área del Núcleo de plomo para todo el sistema.

Se calcula el Área del núcleo de plomo a partir del diámetro a utilizar calculado anteriormente.

$$A_p = \frac{\pi * (0.13 \text{ m})^2}{4} * 30 = 0.398 \text{ m}^2$$

➤ Área del Núcleo de plomo para un aislador

$$A_p = \frac{A_p}{N_{LRB}}$$

$$A_{p1} = \frac{0.398 \text{ m}^2}{30} = 0.013 \text{ m}^2$$

- Fuerza característica(Q_D) .

$$Q_D = A_P * f_{py}$$

$$Q_D = 0.013 \text{ m}^2 * 10000 \text{ KN/m}^2 * 30 = 3900 \text{ KN}$$

- Rigidez del núcleo del plomo

$$K_{pb} = \frac{3900 \text{ KN}}{0.168 \text{ m}} = 23214.286 \text{ KN/m}$$

- Rigidez de post-fluencia requerida por la goma

$$K_r = K_{HTOTAL} - K_{pb}$$

$$K_r = 68261.158 \text{ KN/m} - 23214.286 \text{ KN/m} = 45046.872 \text{ KN/m}$$

- Rigidez post-fluencia para cada aislador

$$K_{r1} = \frac{45046.872 \text{ KN/m}}{54} = 834.201 \text{ KN/m}$$

- Rigidez pre-fluencia requerida por la goma

$$K_1 = 10 * 834.201 \text{ KN/m} = 8342.01 \text{ KN/m}$$

- **Dimensionamiento del Aislador**

- Área del Aislador basada en el esfuerzo de compresión

$$A_2 = \frac{6012.516 \text{ KN}}{15000 \text{ KN/m}^2} = 0.401 \text{ m}^2$$

- Diámetro del aislador

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * 0.401 \text{ m}^2}{\pi} + (0.13 \text{ m})^2} = 0.726 \text{ m}$$

Para el dimensionamiento del aislador se debe corregir el valor del área calculada anteriormente retomando el valor del módulo de cortante (400 KN/m^2) y de la altura de la goma (0.11 m) junto con el valor de la rigidez de post-fluencia el cual es la rigidez asumida por la goma.

- Área del Aislador basada en el módulo de cortante, la altura y rigidez.

$$A_2 = \frac{K_{r1} * H_r}{G}$$

$$A_2 = \frac{834.201 \text{ KN/m} * 0.11 \text{ m}}{400 \text{ KN/m}^2} = 0.229 \text{ m}^2$$

- Diámetro

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * A_2}{\pi} + D_p^2}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * 0.229 \text{ m}^2}{\pi} + (0.13 \text{ m})^2} = 0.555 \text{ m}$$

El diámetro mayor resulto ser de 0.726m, por lo tanto el diámetro requerido del aislador será de 0.7m, con un diámetro de núcleo de plomo igual a 0.13m.

- Área requerida del aislador

$$A = \frac{\pi * (0.7m)^2}{4} - \frac{\pi * (0.13m)^2}{4} = 0.372m^2$$

- Factor de Forma del Aislador LRB

Para el cálculo del Factor de Forma se asume un espesor de goma (t_r) el cual es obtenido a base de la experiencia o a través de la información que ofrece el fabricante, dicho espesor se debe verificar si es adecuado mediante el cálculo de las deformaciones angulares.

$$S_{LRB} = \frac{D_e^2 - D_p^2}{4 * D_e * t_r}$$

$$S_{LRB} = \frac{(0.7m)^2 - (0.13m)^2}{4 * 0.7m * 0.01m} = 16.896$$

- Número de capas de Goma

$$n_{capas\ de\ goma} = \frac{0.11\ m}{0.01\ m} = 11\ capas\ de\ goma$$

- Altura de la goma en función al número de capas y el espesor de cada capa.

$$H_r = n * t_r$$

$$H_r = 11 * 0.01 = 0.11\ m$$

- Número de láminas de acero

$$n_{\text{laminas de acero}} = 12 - 1 = 11 \text{ laminas de acero}$$

- Altura Parcial del aislador

$$H_{\text{parcial}} = 0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m} = 0.14 \text{ m}$$

- Altura Total del aislador

Para el cálculo de la altura total del aislador se asume un espesor de placas de anclaje y un espesor de láminas de acero según la experiencia del diseñador o bien de la información contenida en los catálogos de casa fabricantes de aisladores.

$$H_T = 0.11 + (11 - 1) * 0.003 + 2 * 0.025 = 0.19 \text{ m}$$

- Módulo de Elasticidad considerando compresibilidad del caucho

Para calcular este parámetro se requiere del módulo de compresibilidad de la goma (K) el cual por lo general es igual a 2000000 KPa

$$E_{CLRB} = \left(\frac{1}{6 * G * S_{LRB}^2} + \frac{4}{3 * K} \right)^{-1}$$

$$E_{CLRB} = \left(\frac{1}{6 * 400 \text{ KN/m}^2 * 16.896^2} + \frac{4}{3 * 2000000} \right)^{-1} = 470317.483 \text{ KN/m}^2$$

➤ Rigidez Vertical

Para calcular este parámetro se requiere el módulo de compresión del plomo(E_l) el cual por lo general es igual a 1400000000KPa.

$$K_{vLRB} = \frac{E_{CLRB} * A}{H_r} + \frac{E_l * A_{P1}}{H_{parcial}}$$

$$K_{vLRB} = \frac{470317.483 \text{ KN/m}^2 * 0.372 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m}} + \frac{14000000 \text{ KN/m}^2 * 0.013 \text{ m}^2}{0.14 \text{ m}} = 2890528.215 \text{ KN/m}$$

➤ Frecuencia Horizontal:

$$f_H = \frac{1}{T_D}$$

$$f_H = \frac{1}{2.5 \text{ seg}} = 0.4 \text{ Hertz}$$

➤ Frecuencia Vertical:

$$f_V = \sqrt{6} * S * f_H$$

$$f_V = \sqrt{6} * 16.896 * 0.4 = 16.555 \text{ Hetz}$$

➤ Esfuerzo de trabajo de las láminas de acero

$$\sigma_S = 1.5 * \frac{t_r}{t_s} * \sigma_{AC}$$

$$\sigma_S = 1.5 * \frac{0.01 \text{ m}}{0.003 \text{ m}} * 15000 = 75000 \text{ KN/m}^2$$

➤ Esfuerzo admisible del acero

$$\sigma_{adm} = 0.75 * \sigma_Y$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 * 250000 \frac{KN}{m^2} = 187500 \frac{KN}{m^2}$$

$$75000 \text{ KN/m}^2 < 187500 \text{ KN/m}^2 \text{ ok.}$$

• **Características Finales**

En este Resumen de Diseño se presentan las características Principales de ambos aisladores.

➤ Dimensionamiento

$$D_e = 0.7m \quad D_p = 0.13 \text{ m} \quad H_T = 0.19 \text{ m} \quad n_{\text{capas de goma}} = 11 \quad t_r = 0.01$$
$$n_{\text{laminas de acero}} = 10 \quad t_s = 0.003 \text{ m}$$

➤ Características mecánicas de aisladores HDR

- Rigidez efectiva del aislador HDR

$$K_{r1} = \frac{G * A}{H_r}$$

$$K_{r1} = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.372 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m}} = 1352.727 \text{ KN/m}$$

- Energía disipada por ciclo HDR

$$W_{DHDR} = 2 * \pi * 1352.727 \text{ KN/m} * (0.168\text{m})^2 * 0.21 = 50.376 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

- Deformación de fluencia del HDR

Según la Nch 2745 el Desplazamiento de fluencia se puede aproximar por un valor que varía entre $0,05H_r$ y $0,1H_r$.

$$D_{yHDR} = 0.1 * H_r$$

$$D_{yHDR} = 0.1 * 0.11\text{m} = 0.011 \text{ m}$$

- Fuerza Característica del HDR

$$Q_2 = \frac{W_{DHDR}}{4(D_D - D_{yHDR})}$$

$$Q_2 = \frac{50.376 \text{ KN} \cdot \text{m}}{4(0.168 \text{ m} - 0.011 \text{ m})} = 80.217 \text{ KN}$$

- Rigidez post-fluencia HDR

$$K_2 = K_{r1} - \frac{Q_2}{D_D}$$

$$K_2 = 1352.727 \text{ KN/m} - \frac{80.217 \text{ KN}}{0.168 \text{ m}} = 875.245 \text{ KN/m}$$

- Rigidez de pre-fluencia del HDR

$$K_1 = \frac{Q_2}{D_y} + K_2$$

$$K_1 = \frac{80.217 \text{ KN}}{0.011 \text{ m}} + 875.245 \text{ KN/m} = 8167.700 \text{ KN/m}$$

- Fuerza de fluencia del HDR

$$F_{y1} = Q_2 + (K_2 * D_{yHDR})$$

$$F_{y1} = 80.217 \text{ KN} + (875.245 \text{ KN/m} * 0.011 \text{ m}) = 89.845 \text{ KN}$$

- Factor de forma para aisladores HDR

$$S_{HDR} = \frac{0.7 \text{ m} - 0.10 \text{ m}}{4 * 0.01} = 15$$

- Módulo de elasticidad del caucho y acero para aisladores HDR

$$E_{CHDR} = \left(\frac{1}{6 * G * S_{HDR}^2} + \frac{4}{3 * K} \right)^{-1}$$

$$E_{CHDR} = \left(\frac{1}{6 * 400 \text{ KN/m}^2 * 15^2} + \frac{4}{3 * 2000000 \text{ KN/m}^2} \right)^{-1} = 397058.824 \text{ KN/m}^2$$

- Rigidez vertical para aisladores HDR

$$K_{VHDR} = \frac{397058.824 \text{ KN/m}^2 * 0.372 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m}} = 1342780.75 \text{ KN/m}$$

- Frecuencia vertical para aisladores HDR

$$f_{vHDR} = \sqrt{6} * 15 * 0.4 \text{ Hertz} = 14.697 \text{ Hertz}$$

➤ Características mecánicas de aisladores LRB

- Rigidez del núcleo de plomo para un aislador

$$K_{pb1} = \frac{K_{pb}}{N_{LRB}}$$

$$K_{pb1} = \frac{23214.286 \text{ KN/m}}{30} = 773.810 \text{ KN/m}$$

- Rigidez efectiva del aislador LRB

$$K_{eff} = K_{r1} + K_{pb1}$$

$$K_{eff} = 1352.727 \text{ KN/m} + 773.810 \text{ KN/m} = 2126.537 \text{ KN/m}$$

- Rigidez post-fluencia del LRB

$$K_d = K_{eff} - \frac{Q}{N_{LRB} * D_D}$$

$$K_d = 2126.537 \text{ KN/m} - \frac{3900 \text{ KN}}{30 * 0.168 \text{ m}} = 1352.727 \text{ KN/m}$$

- Rigidez de pre-fluencia del LRB

$$K_u = 10 * K_{r1}$$

$$K_u = 10 * 1352.727 \text{ KN/m} = 13527.27 \text{ KN/m}$$

- Fuerza de fluencia del LRB

$$F_y = K_u * D_y$$

$$F_y = 13527.27 \text{ KN/m} * 0.011 \text{ m} = 148.8 \text{ KN}$$

- Rigidez efectiva total del sistema

$$K_{effTotal} = N_{LRB} * K_{eff} + N_{HDR} * K_{r1}$$

$$K_{effTotal} = 30 * 2126.537 \text{ KN/m} + 24 * 1352.727 \text{ KN/m} = 96261.558 \text{ KN/m}$$

- Rigidez Vertical del LRB

$$K_{vLRB} = \frac{E_{cLRB} * A}{H_r} + \frac{E_l * A_{p1}}{t_r + (n - 1) * t_s} = 2890528.215 \text{ KN/m}$$

- Verificación de Periodo Objetivo

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{g * K_{effTotal}}}$$

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2 * 96261.558 \text{ KN/m}}} = 2.11 \text{ seg.}$$

- **Verificación al Pandeo para el aislador HDR**

- Inercia del Aislador

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{0.7 \text{ m}}{2} \right)^4 - \left(\frac{0.1 \text{ m}}{2} \right)^4 \right] = 0.012 \text{ m}^4$$

- Carga de Pandeo del aislador

$$P_E = \frac{\pi^2 * 397058.824 \text{ KN/m}^2 * 0.012 \text{ m}^4}{3 * [0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}]^2} * \frac{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 1017873.641 \text{ KN}$$

- Área de Cortante Efectiva

$$A_S = 0.372 \text{ m}^2 * \frac{[(0.11 \text{ m}) + (11 - 1) * (0.003 \text{ m})]}{0.11 \text{ m}} = 0.473 \text{ m}^2$$

- Rigidez de cortante efectiva

$$P_S = 400 \text{ KN/m}^2 * 0.473 \text{ m}^2 = 189.2 \text{ KN}$$

- Carga critica

$$P_{Crit.} = \sqrt{189.2 \text{ KN}} * \sqrt{1017873.641 \text{ KN}} = 13877.381 \text{ KN}$$

- Factor de seguridad de Pandeo

$$F.S = \frac{13877.381 \text{ KN}}{6012.516 \text{ KN}} = 2.308 > 2 \text{ ok.}$$

- **Influencia de la carga Vertical en la Rigidez Horizontal del aislador HDR**

- Rigidez Horizontal Reducida

$$K_H = \frac{GA_S}{h} \left[1 - \left(\frac{P}{P_{Crit.}} \right)^2 \right]$$

$$K_H = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.473 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}} \left[1 - \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{13877.381 \text{ KN}} \right)^2 \right] = 1097.746 \text{ KN/m}$$

- Desplazamiento hacia abajo del aislador

$$\delta_V = \left(\frac{P}{P_{Crit.}} \right) \sqrt{\frac{P_S}{P_E} \frac{D_D^2}{h}}$$

$$\delta_V = \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{13877.381 \text{ KN}} \right) \sqrt{\frac{189.2 \text{ KN}}{1017873.641 \text{ KN}} * \frac{(0.168 \text{ m})^2}{0.11 \text{ m} + [(11 - 1) * (0.003 \text{ m})]}} = 0.00119 \text{ m}$$

- **Verificación al Pandeo para el aislador LRB**

- Inercia del Aislador

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{0.70 \text{ m}}{2} \right)^4 - \left(\frac{0.12 \text{ m}}{2} \right)^4 \right] = 0.012 \text{ m}^4$$

- Carga de Pandeo del aislador

$$P_E = \frac{\pi^2 * 470317.483 \text{ KN/m}^2 * 0.012 \text{ m}^4}{3 * [0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}]^2} * \frac{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 1205674.675 \text{ KN}$$

➤ Área de Cortante Efectiva

$$A_S = 0.372 \text{ m}^2 * \frac{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 0.473 \text{ m}^2$$

➤ Rigidez de cortante efectiva

$$P_S = 400 \text{ KN/m}^2 * 0.473 \text{ m}^2 = 189.2 \text{ KN}$$

➤ Carga critica

$$P_{Crit.} = \sqrt{189.2 \text{ KN}} * \sqrt{1205674.675 \text{ KN}} = 15103.432 \text{ KN}$$

➤ Factor de seguridad de Pandeo

$$F.S = \frac{15103.432 \text{ KN}}{6012.516 \text{ KN}} = 2.512 > 2 \text{ ok}$$

• **Influencia de la carga Vertical en la Rigidez Horizontal del aislador LRB**

➤ Rigidez Horizontal Reducida

$$K_H = \frac{400 \text{ KN/m}^2 * 0.473 \text{ m}^2}{0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m}} \left[1 - \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{15103.432 \text{ KN}} \right)^2 \right] = 1137.261 \text{ KN/m}$$

➤ Desplazamiento hacia abajo del aislador

$$\delta_V = \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{15103.432 \text{ KN}} \right) \sqrt{\frac{189.2 \text{ KN}}{1205674.675 \text{ KN}}} * \frac{(0.168 \text{ m})^2}{(0.11 \text{ m} + (11 - 1) * 0.003 \text{ m})} = 0.00101 \text{ m}$$

- **Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales del aislador HDR**

- Desplazamiento Critico

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{13877.381 \text{ KN}} \right)^{\frac{4}{3}} = 0.710 \text{ m}$$

$$D_{crit} = 0.710 * 2 * 0.35 \text{ m} = 0.497 \text{ m}$$

$$0.497 \text{ m} > 0.168 \text{ m ok}$$

- Angulo medio subtendido al centro de la intersección del círculo superior e inferior.

$$\theta = \cos^{-1} 0.710 = 44.765^{\circ}$$

$$\theta = \frac{44.765^{\circ} * \pi}{180} = 0.781 \text{ radianes}$$

- Área Normalizada (a)

$$a = \frac{2}{\pi} (\theta - \sin\theta \cos\theta)$$

$$a = \frac{2}{\pi} * [(0.781) - \sin(0.781) * \cos(0.781)] = 0.179$$

- Área Reducida

$$a = \frac{A_r}{\pi R^2}$$

$$A_r = a\pi R^2$$

$$A_r = 0.179 * \pi * (0.35)^2 = 0.069 \text{ m}^2$$

- **Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales del aislador LRB**

- **Desplazamiento Critico**

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{P}{P_{crit.}} \right)^{\frac{4}{3}}$$

$$d = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{6012.516 \text{ KN}}{15103.432 \text{ KN}} \right)^{\frac{4}{3}} = 0.741 \text{ m}$$

$$D_{crit} = d * 2 * R$$

$$D_{crit} = 0.741 \text{ m} * 2 * 0.35 \text{ m} = 0.519 \text{ m}$$

$$D_{crit} > D_D$$

$$0.519 \text{ m} > 0.168 \text{ m ok}$$

- **Angulo medio subtendido al centro de la intersección del círculo superior e inferior.**

$$d = \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} d$$

$$\theta = \cos^{-1} 0.741 = 42.183^\circ$$

$$\theta = \frac{42.183^\circ * \pi}{180} = 0.736 \text{ radianes}$$

- **Área Normalizada (a)**

$$a = \frac{2}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$a = \frac{2}{\pi} * [(0.736) - \sin(0.736) * \cos(0.736)] = 0.152$$

➤ Área Reducida

$$a = \frac{A_r}{\pi R^2}$$

$$A_r = a\pi R^2$$

$$A_r = 0.152 * \pi * (0.35)^2 = 0.058 \text{ m}^2$$

- **Desplazamiento Máximo**

Para el cálculo del Desplazamiento Máximo se utiliza el mismo factor M_M calculado en el procedimiento de diseño del aislador de núcleo de plomo, este factor resulto igual a 1.5.

Con este factor M_M y con el Desplazamiento de Diseño calculado con anterioridad se determina el Desplazamiento Máximo Preliminar:

$$D_M = 1.5 * 0.168 = 0.252 \text{ m}$$

Con el valor de Desplazamiento Máximo preliminar, con $K_{r1} = 1360 \text{ KN/m}$, con $Q = 3850 \text{ KN}$ se calcula la Rigidez Efectiva del Sistema

$$k_{eff} = N * K_{r1} + \frac{Q_D}{D_M}$$

:

$$k_{eff} = 54 * 1352.727 \text{ KN/m} + \frac{3900 \text{ KN}}{0.252 \text{ m}} = 88523.448 \text{ KN/m}$$

Se recalcula un Desplazamiento de Fluencia con el valor de la fuerza característica Q del sistema:

$$D_Y = \frac{Q_D}{9 * K_{r1} * N}$$

$$D_Y = \frac{3900 \text{ KN}}{9 * 1352.727 \text{ KN/m} * 54} = 0.006 \text{ m}$$

Se recalcula la energía disipada por ciclo (W_D):

$$W_D = (4)(Q_D)(D_M - D_Y)$$

$$W_D = (4)(3900 \text{ KN})(0.252\text{m} - 0.006\text{m}) = 3837.600 \text{ KN.m}$$

Con el valor que resulte de la ecuación anterior se calcula un amortiguamiento (β) el cual servirá para calcular el Desplazamiento máximo real.

$$\beta = \frac{W_D}{2 * \pi * K_{eff} D_D^2}$$

$$\beta = \frac{3837.600 \text{ KN.m}}{2 * \pi * 88523.448 \text{ KN/m} * (0.252\text{m})^2} = 0.11 = 11\%$$

Para un Amortiguamiento efectivo del 11% el coeficiente de amortiguamiento es igual a 1.23 obtenido a partir de la Tabla 17.5.1 del ASCE 7-10

Se calcula el Periodo el cual está en función de la masa (M) Y de la Rigidez Efectiva.

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{106054.179 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2 * 88523.448 \text{ KN/m}}} = 2.20 \text{ seg}$$

Con los datos que se obtengan con las ecuaciones anteriores se calcula el Desplazamiento Máximo Real.

$$D_M = \frac{g * SM_1 * T_M}{4\pi^2 \beta_M}$$

$$D_M = \frac{9.81 \text{ m/seg}^2 * 0.62 * 2.20 \text{ seg}}{4\pi^2 * 1.23} = 0.276 \text{ m}$$

Se corrige el valor de la rigidez efectiva y de la energía disipada por ciclo con el Desplazamiento Máximo Real. Con estos Nuevos Valores se calcula nuevamente el amortiguamiento y el periodo.

$$k_{eff} = 54 * 1352.727 \text{ KN/m} + \frac{3900 \text{ KN}}{0.276 \text{ m}} = 87177.693 \text{ KN/m}$$

$$W_D = (4)(3900 \text{ KN})(0.273 \text{ m} - 0.006 \text{ m}) = 4212 \text{ KN.m}$$

$$\beta_M = \frac{4165.2 \text{ KN.m}}{2 * \pi * 87177.693 \text{ KN.m} * (0.273 \text{ m})^2} = 0.10 = 10\%$$

Según la tabla 17.5.1 del ASCE7-10 el coeficiente de amortiguamiento para $\beta_M = 10\%$ es igual a 1.2

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{106013.932 \text{ KN}}{9.81 \text{ m/seg}^2 * 87177.693 \text{ KN/m}}} = 2.2 \text{ seg}$$

- **Fuerzas laterales minimas para un sistema de aislamiento**

- **Fuerza lateral por debajo del sistema de aislamiento**

$$V_b = K_{Dmax} * D_D$$

$$K_{Dmax} = K_{HTOTAL}$$

$$V_b = 96261.558 \text{ KN/m} * 0.168 \text{ m} = 16171.942 \text{ KN}$$

Dónde:

K_{Dmax} : Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación

D_D : Desplazamiento de diseño

➤ **Fuerza lateral por encima del sistema de aislamiento**

$$V_s = \frac{K_{Dmax} * D_D}{R_1}$$

$$V_s = \frac{96261.558 \text{ KN/m} * 0.168 \text{ m}}{2} = 8085.971 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento**

Para calcular la Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento se necesita de la Fuerza de fluencia del sistema

$$F_{Ysist.} = F_Y * N$$

Dónde:

F_Y : Fuerza de fluencia de cada aislador

N : Numero de aisladores

$$F_{Ysist.} = 148.8 \text{ KN} * 54 = 8035.2 \text{ KN}$$

Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento es igual a

$$V_i = 1.5 * F_{Ysist.}$$

$$V_i = 1.5 * 8035.2 \text{ KN} = 12052.8 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la Sección 12.8 del ASCE 7-10**

El cortante en la base V , en una dirección dada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = C_s * W$$

$$C_s = \frac{0.41}{2.11(2)} = 0.097$$

El coeficiente sísmico calculado con la ecuación 12-8-2 del ACE7-10 excede al calculado anteriormente, por lo tanto el coeficiente sísmico será igual a 0.097.

$$V = 0.097 * 106013.932 \text{ KN} = 10283.351 \text{ KN}$$

➤ **Fuerza sísmica lateral según la norma RNC- 07**

Como el periodo deseado de la estructura es igual a 2.2 seg, entonces:

$$a = S_d \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2$$

$$a = 1.5 * 0.31 * 2.7 * \left(\frac{0.6}{2} \right) \left(\frac{2}{2.11} \right)^2 = 0.338$$

El coeficiente sísmico será igual a:

$$c = \frac{a}{\Omega * Q}$$

$$c = \frac{0.338}{2 * 1.6} = 0.1056$$

Para el cálculo de la fuerza sísmica se utiliza la ecuación 13 del RNC.

$$F_{Si} = \frac{a}{\Omega * Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

$$F_{Si} = 0.1056 * 106013.932 \text{ KN} = 11195.071 \text{ KN}$$

La Fuerza sísmica lateral que debe utilizarse para el diseño será la Fuerza sísmica lateral para activar el sistema de aislamiento calculada según el ASCE 7-10 Sección 17.5.4.3 inciso 3, ya que esta resulto ser de mayor valor.

- **Desplazamiento Total de Diseño y Desplazamiento Total Máximo**

Nuestro edificio cuenta con las siguientes características:

Dimensión en planta de la estructura en la dirección X=51.5m

Dimensión en planta de la estructura en la dirección Y=34.3m

La dirección del sismo considerado será en el eje Y por lo tanto:

$$y=17.15m$$

$$d=51.5m$$

$$b=34.3m$$

Excentricidad real: 0.04 m

Excentricidad accidental=0.05*34.3=1.715m

Desplazamiento de diseño $D_D = 0.168 m$

Desplazamiento Máximo $D_M = 0.276 m$

Con estos datos se procede a calcular el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TD} = 0.168 m \left[1 + 17.15 * \frac{12 * (0.04 + 1.715 m)}{(34.3m)^2 + (51.5m)^2} \right] = 0.18 m$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right]$$

$$D_{TM} = 0.276 \text{ m} \left[1 + 17.15 * \frac{12 * (0.04 \text{ m} + 1.715 \text{ m})}{(34.3 \text{ m})^2 + (51.5 \text{ m})^2} \right] = 0.30 \text{ m}$$

El desplazamiento total de diseño y el desplazamiento total máximo se pueden tomar menores a los desplazamientos calculados anteriormente, pero no menores que 1.1 veces D_d ni 1.1 veces D_m , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión.

$$1.1D_D = 1.1 * 0.168 \text{ m} = 0.18 \text{ m}$$

$$1.1D_D = D_{TD} \text{ ok}$$

$$1.1D_M = 1.1 * 0.273 \text{ m} = 0.30 \text{ m}$$

$$1.1D_D = D_{TM} \text{ ok.}$$

- **Deformación Cortante Máxima**

Para un Módulo de Cortante igual a 0.40 MPa el cual fue definido en los datos de entrada, se tienen los siguientes datos:

$$E=1.35 \text{ MPa} \quad k=0.87 \quad \varepsilon_u = 650 \%$$

La deformación total se limita la elongación final a la rotura del elastómero dividido por el factor de seguridad apropiado a la condición de carga.

La Deformación Angular de Corte debido a la carga lateral es:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{D_{TD}}{H_r}$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{0.18 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 1.636$$

La Deformación Angular de Compresión se calcula como:

$$\varepsilon_{sc} = 6S\varepsilon_c$$

Dónde:

S : Factor de Forma

ε_c : Deformación axial media de la capa del elastómero

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E[1 + 2kS^2]}$$

$$\varepsilon_c = \frac{6012.516/0.372 \text{ m}^2}{1350 \text{ KN/m}^2[1 + 2 * 0.87 * (15)^2]} = 0.031$$

$$\varepsilon_{sc} = 6 * 15 * 0.031 = 2.79$$

Para cargas últimas que incluyen desplazamientos debido a sismo los criterios de deformación limitantes se basan de acuerdo a la siguiente condición:

$$f\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh}$$

Donde $f=0.75$ (Factor de seguridad=1.33)

$$f\varepsilon_u = 0.75 * 6.5 = 4.875$$

$$\varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh} = 2.79 + 1.636 = 4.426$$

$$4.875 > 4.426 \text{ ok.}$$

- **Deformación Cortante Máxima para el Aislador LRB**

La Deformación Angular de Corte es:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{D_{TD}}{H_r}$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{0.18 \text{ m}}{0.11 \text{ m}} = 1.636$$

La Deformación Angular de Compresión se calcula como:

$$\varepsilon_{sc} = 6S\varepsilon_c$$

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E[1 + 2kS^2]}$$

$$\varepsilon_c = \frac{6012.516/0.372 \text{ m}^2}{1350 \text{ KN/m}^2[1 + 2 * 0.87 * (16.896)^2]} = 0.024$$

$$\varepsilon_{sc} = 6 * 16.896 * 0.024 = 2.433$$

Para cargas últimas que incluyen desplazamientos debido a sismo los criterios de deformación limitantes se basan de acuerdo a la siguiente condición:

$$f\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh}$$

Donde f=0.75 (Factor de seguridad=1.33)

$$f\varepsilon_u = 0.75 * 6.5 = 4.875$$

$$\varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh} = 2.433 + 1.636 = 4.069$$

$$4.875 > 4.069 \text{ ok.}$$

ANEXO E. ANALISIS CONVENCIONAL DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO.

E.1 ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL YA EXISTENTE.

➤ Modelación del edificio convencional

Para la modelación del edificio convencional se tomaron en cuenta todos los elementos estructurales que se encontraban en los planos exceptuando el área de las escaleras las cuales se consideraron separadas tanto para la estructura con base fija como para la aislada.

Para el análisis modal es indispensable considerar las masas del peso propio de los elementos más las cargas muertas permanentes y la carga viva reducida esto con el fin de no introducir joints o puntos que simulen el centro de masa lo cual no es muy real.

Se consideró la base del edificio empotrada al suelo. Para el sistema que conforman los pórticos se utilizaron elementos tipo frame para las vigas y columnas con sus respectivas secciones según el pre diseño, para el caso de los muros se empleó el elemento tipo Shell, también se utilizó el comando constrain la cual se utiliza para generar el efecto de diafragma horizontal en cada piso y a su vez para simular el efecto de rigidez y la resistencia suficiente para lograr la distribución de las fuerzas inerciales entre los planos y subestructura verticales resistentes.

Para realizar el análisis sísmico de la estructura convencional se consideró el análisis modal espectral contemplado en el reglamento RNC-07, utilizando el espectro de diseño el cual será aplicado a las características sísmicas en las direcciones horizontales y en la dirección vertical.

➤ **Análisis modal espectral según el RNC-07**

Para el edificio en estudio, se eligió el método dinámico de análisis modal contemplado en el Artículo 33 del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07), debido a que es un método que puede utilizarse para el análisis de toda estructura, cualesquiera que sean sus características, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a 0.4 segundos, considerando como mínimo los tres primeros modos de vibrar en cada dirección de análisis (X, Y, Z), excepto para estructuras de uno o dos niveles.

Se debe incluir el efecto de los modos naturales que sean necesarios para que la suma de todos los pesos efectivos en cada dirección de análisis sea mayor o igual a 90% del peso total de la estructura.

- Estados de carga:

Carga muerta: se considera el peso de vigas, columnas y muros

Carga viva: se aplica lo establecido en el RNC-07, para edificios de oficinas es de 250 Kg/m^2 , para la azotea del edificio la carga viva será de 100 Kg/m^2

- Determinación del espectro de diseño

Para definir el espectro de diseño a utilizar se debe considerar los siguientes parámetros sísmicos

Tipo de suelo: III

Zona sísmica

Aceleración máxima del sitio $a_0=0.31g$

Factor de sobrerresistencia $\Omega = 2$

Factor de ductilidad $Q=3$

Factor de amplificación del suelo $S=2$

Grupo de estructura: B

- Condiciones de regularidad (Art.23)

Condición	Cumple	Observaciones
1) Simetría ortogonal	OK	
2) Relación altura/dimensión menor de su base	OK	$4.6/8.5=0.54 < 2.5$
3) Relación largo/ancho	OK	$8.5/4.81=1.78 < 2.5$
4) Entrantes y salientes		
5) En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.	OK	
6) Abertura cuya dimensión excede de 20% de la dimensión en planta(Ascensor)	No cumple	$34.3 \times 0.20 = 6.86 < 10$.1
7) El peso de cada nivel, incluyendo CV, entre 110% y 70% del correspondiente al piso inmediato inferior ni, con excepción en el último nivel	OK	
8) El área de cada nivel debe estar entre el 70 y el 110% del área del nivel inferior	OK	$A_1 > 110\% A_2$, $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = A_6$
9) Columnas restringidas por diafragmas horizontales	OK	
10) La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 50% a la del entrepiso inmediato inferior	OK	
10) La resistencia al corte de ningún entrepiso excede en más de 50% a la del entrepiso inmediato inferior	OK	
11) La excentricidad torsional calculada, no excede del 10% de la dimensión en planta de ese entrepiso	No cumple	Ver Tabla No.35 $e_{sy} > 0.1b$

Tabla E1.1: Condiciones de regularidad (Art.23 RNC-07).

La estructura no cumple dos de los requisitos del inciso a) del Art. 23 por lo tanto se considera como irregular.

Corrección por irregularidad: Debido a que la estructura no cumple con más de un requisito del inciso a) del Art.23 el factor Q definido en el Artículo 21 se multiplicara por 0.8 por lo tanto Q será igual a: $Q=0.8 \times 3=2.4$

Conforme a estos parámetros se definirá el espectro sísmico:

Ordenad del espectro de aceleraciones a: ecuación 6 del RNC

$$a = \begin{cases} S \left[a_0 + (d - a_0) \frac{T}{T_a} \right] & \text{si } T < T_a \\ Sd & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ Sd \left(\frac{T_b}{T} \right) & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ Sd \left(\frac{T_b}{T_c} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 & \text{si } T > T_c \end{cases}$$

- Como el periodo deseado de la estructura es igual a 2.66 seg, entonces:

$$a = Sd \left(\frac{T_b}{T} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2$$

$$a = 1.5 * 0.31 * 2.7 * \left(\frac{0.6}{2} \right) \left(\frac{2}{2.40} \right)^2 = 0.262$$

- El valor de a no debe ser menor a Sa_0 el cual es igual a:

$$Sa_0 = 1.5 * 0.31 = 0.465$$

- El coeficiente sísmico será igual a:

$$c = \frac{a}{\Omega * Q}$$

$$c = \frac{0.465}{2 * 2.4} = 0.096875$$

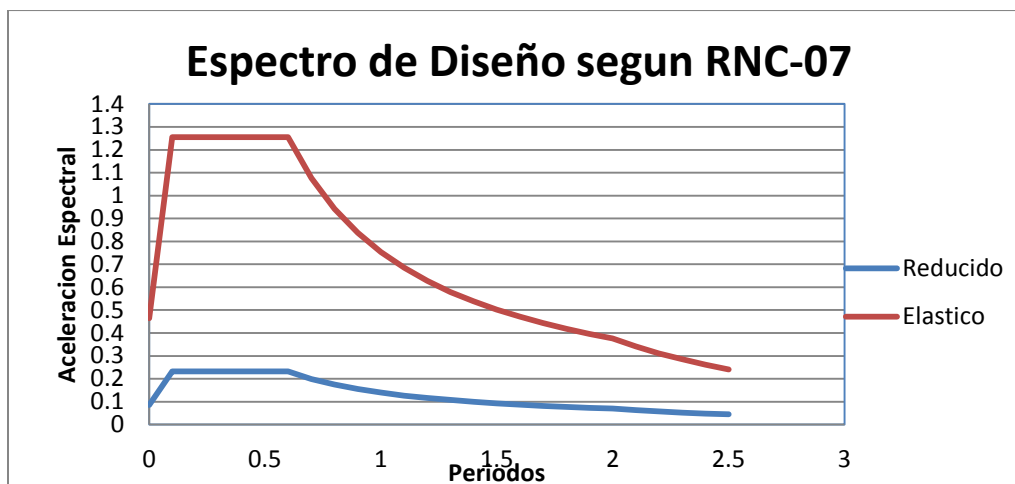


Figura E1.1: Espectro de diseño según el RNC-07

- Fuerza Lateral del Edificio**

SENTIDO LONGITUDINAL (X)					
NIVEL	hi(m)	Wi(Ton)	Wixhi	Fsi	Vi
5-6	26.2	1037.9678	27194.75636	826.86	826.86
4-5	22.1	1251.2676	27653.01396	840.80	1667.66
3-4	18	1251.2676	22522.8168	684.81	2352.48
2-3	13.9	1277.6388	17759.17932	539.97	2892.45
1-2	9.8	1277.6388	12520.86024	380.70	3273.15
0-1	5.7	1503.6934	8571.05238	260.61	3533.76

Tabla E1.2: Fuerza lateral del edificio en sentido longitudinal (X)

SENTIDO TRANSVERSAL (Y)					
NIVEL	hi(m)	Wi(Ton)	Wixhi	Fsi	Vi
5-6	26.2	897.461	23513.4782	723.16	723.16
4-5	22.1	1176.291	25996.0311	799.51	1522.67
3-4	18	1176.291	21173.238	651.19	2173.86
2-3	13.9	1231.3938	17116.3738	526.42	2700.27
1-2	9.8	1231.3938	12067.6592	371.14	3071.42
0-1	5.7	1432.364	8164.4748	251.10	3322.52

Tabla E1.3: Fuerza lateral del edificio en sentido transversal (Y)

- **Efectos de Torsión**

Se determina la excentricidad torsional de rigideces en cada entrepiso de acuerdo con el Artículo 32 del RNC-07, tomándola como la distancia entre el centro de rigidez y el centro de masa de cada uno de los niveles del edificio. La excentricidad calculada se define mediante la siguiente ecuación:

$$e_s = CM - CR$$

- **Centro de Masas por Piso**

Piso	Xi	Yi
0-1	25.86	17.19
1-2	25.94	13.15
2-3	25.94	13.15
3-4	25.91	13.15
4-5	25.91	13.15
5-6	25.82	13.15

Tabla E1.4: Centros de masa por piso.

- **Centro de Rigidez por Piso**

ELEVACIONES 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6

EJE	Ri	Yi	Ri x Yi
A	0.94	26.3	24.7274416
B	2.67	18.1	48.384364
C	2.67	8.2	21.9199881
D	0.94	0	0
	$\Sigma 7.22675237$		$\Sigma 95.0317936$

Tabla E1.5: Centros de rigidez por piso.

$$CR_Y = 13.15$$

EJE	Ri	Xi	Ri x Yi
1	0.94	0	0
3	4.22	17	71.80
4	4.22	25.5	107.70
7	5.71	51	291.46
	$\Sigma 15.10$		$\Sigma 470.96$

Tabla E1.7: Centros de rigidez por piso.

$$CR_x=31.18$$

ELEVACION 0-1

EJE	Ri	Yi	RixYi
A	0.35	31.72	11.09899402
B	0.30	22.1	6.52463916
C	0.30	12.2	3.601837002
D	0.35	2.58	0.902755504
E	156.65	0	0
0	156.65	34.3	5373.095
	$\Sigma 314.59$		$\Sigma 5395.223$

Tabla E1.8: Centros de rigidez por piso.

$$CR_y=17.15$$

EJE	Ri	Xi	RixYi
1	40.08	0	0
3	0.17	17	2.90448681
4	0.17	25.5	4.35673021
7	40.08	51.5	2064.29879
1'	0.22	2.8	0.62316611
6'	0.22	48.1	10.7051035
	80.95		2082.88828

Tabla E1.9: Centros de rigidez por piso.

$$CR_y=25.73$$

Calculo de efectos de Torsión Edificio Convencional Dirección X (b = 51.5 m)									
Nivel	$F_x(KN)$	CM_x	CM_y	CR_x	CR_y	e_{sy}	$e_d(m)$ ($e_s-0.1b$)	$e_d(m)$ $1.5e_s*0.1b$	Momento Torsor (KN.m)
6	826.86	25.82	13.15	31.18	13.15	0.00	-5.15	5.15	4258.329
5	840.80	25.91	13.15	31.18	13.15	0.00	-5.15	5.15	4330.12
4	684.81	25.91	13.15	31.18	13.15	0.00	-5.15	5.15	3526.772
3	539.97	25.94	13.15	31.18	13.15	0.00	-5.15	5.15	2780.846
2	380.70	25.94	13.15	31.18	13.15	0.00	-5.15	5.15	1960.605
1	260.61	25.86	17.19	25.73	17.15	0.04	-5.11	5.11	1331.717

Tabla E1.10: Efectos de la torsión en edificio convencional dirección X (b=51.5 m).

Calculo de efectos de Torsión Edificio Convencional Dirección Y (b = 34.3 m)									
Nivel	$F_x(KN)$	CM_x	CM_y	CR_x	CR_y	e_{sy}	$e_d(m)$ ($e_s-0.1b$)	$e_d(m)$ $1.5e_s+0.1b$	Momento Torsor (KN.m)
6	723.16	25.82	13.15	31.18	13.15	5.36	1.93	11.47	8294.645
5	799.51	25.91	13.15	31.18	13.15	5.27	1.84	13.335	10661.466
4	651.19	25.91	13.15	31.18	13.15	5.27	1.84	13.335	8683.619
3	526.42	25.94	13.15	31.18	13.15	5.24	1.81	11.29	5943.282
2	371.14	25.94	13.15	31.18	13.15	5.24	1.81	11.29	4190.171
1	251.10	25.86	17.19	25.73	17.15	0.13	-3.3	3.625	910.238

Tabla E1.11: Efectos de la torsión en edificio convencional dirección X (b=34.3 m).

ANEXO F. CONCEPTOS BÁSICOS Y PALABRAS CLAVES.

Aceleración Mapeada: Es la Aceleración máxima del suelo (PGA) el cual se puede estimar a partir de relaciones de atenuación, las que suelen aplicarse a lugares puntuales o ambientes tectónicos específicos.

Aislador: Elemento estructural del sistema de aislación que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitación sísmica. Es un elemento que se puede utilizar como parte del, o adicionalmente al sistema de carga gravitacional de la estructura.

Amortiguamiento efectivo: valor de la razón de amortiguamiento viscoso equivalente que se obtiene de la energía disipada para respuesta cíclica del sistema de aislación.

Desplazamiento de Diseño: es el desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño, excluyendo el desplazamiento debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación.

Desplazamiento Máximo: es el desplazamiento lateral provocado por el sismo máximo posible, excluyendo el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, requerida para el diseño del sistema de aislación.

Desplazamiento Total de Diseño: es el desplazamiento lateral provocado por el sismo de diseño, incluyendo desplazamientos adicionales debidos a la torsión natural y accidental, requerida para el diseño del sistema de aislación o de algún elemento de él.

Desplazamiento Total Máximo: es el desplazamiento lateral máximo provocado por el sismo máximo posible incluyendo desplazamientos adicionales debidos a la torsión natural y accidental, requerida para la verificación de la estabilidad del sistema de aislación, o elementos de el, para el diseño de las separaciones entre edificios, y para los ensayos bajo carga vertical de los pórticos de los aisladores.

Elemento Link/Support: Es un enlace que sirve para especificar las propiedades mecánicas de los aisladores en el cual para la parte lineal se asigna la propiedad de la rigidez vertical en la dirección U1, en las direcciones U2 y U3 se introducen las propiedades no lineales como la rigidez efectiva, la rigidez de pre-fluencia y la fuerza de fluencia.

Histéresis: La Histéresis es la energía perdida durante un ciclo de deformación y recuperación, debido a la conversión de energía de histéresis en calor. Los comportamientos histeréticos muestran que las propiedades de los aisladores son independientes de la velocidad, los desplazamientos máximos y mínimos ocurren al cortante máximo y mínimo respectivamente. El comportamiento general de la goma se puede describir como histerético, presentando una curva de esfuerzo – deformación no lineal con disipación de energía. Para una deformación dada el material sufre un deterioro paulatino de la rigidez inicial al ser sometida a ciclos sinusoidales de deformación. Este proceso continúa hasta que se obtiene un ciclo estable. Este comportamiento se explica como un proceso de acomodamiento de las partículas al interior del material que compone la goma.

Interfaz de aislación: espacio generado por el sistema de aislación que se encuentra limitado en su parte superior por la superestructura y en su parte inferior por la subestructura.

Material elastomérico: Los elastómeros son aquellos tipos de compuestos que están incluidos no metales en ellos, que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados. Cada uno de los monómeros que se unen entre sí para formar el polímero está normalmente compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno o silicio. Los elastómeros son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea o T_g , de ahí esa considerable capacidad de deformación. A temperatura ambiente

las gomas son relativamente blandas ($E = 3 \text{ MPa}$) y deformables. Se usan principalmente para cierres herméticos, adhesivos y partes flexible.

Material polimérico: Un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga. Cada molécula está hecha de unidades repetitivas que se conectan entre sí. Puede haber miles o millones de unidades en una sola molécula de polímero. Los polímeros se dividen en plásticos y elastómeros.

Pares de registros: registros del movimiento del suelo provocado por alguna acción sísmica según dos direcciones ortogonales.

Periodo de Retorno: es el tiempo medio entre sucesos y está relacionado con la probabilidad de cada año. Por ejemplo para un periodo de retorno de 2500 años el sismo tendrá la probabilidad de ser excedido el 2% en 50 años con una probabilidad anual de $1/2500$.

PolitetraFluoroEtileno: El politetrafluoroetileno es mejor conocido por el nombre comercial Teflón. El politetrafluoroetileno, o PTFE, está compuesto por una cadena carbonada, donde cada carbono está unido a dos átomos de flúor. Se lo representa generalmente como una cadena carbonada de miles de átomos de longitud. La propiedad principal de este material es que es prácticamente inerte, no reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales. Esto se debe básicamente a la protección de los átomos de flúor sobre la cadena carbonada. Tiene un muy bajo coeficiente de rozamiento y gran impermeabilidad, manteniendo además sus cualidades en ambientes húmedos.

Rigidez efectiva o secante: valor de la fuerza lateral que se genera en el sistema de aislación, o en un elemento de él, dividido por el desplazamiento lateral correspondiente.

Rigidez vertical mínima: la rigidez vertical mínima del sistema de aislación es tal que la frecuencia de vibración propia de la estructura en sentido vertical, suponiendo una superestructura rígida, debe superar los 10 Hz.

Sistema de aislación: conjunto de elementos estructurales que incluye a todos los aisladores individuales, todos los elementos estructurales que transfieren fuerza entre los elementos del sistema de aislación y la superestructura y subestructura, y todas las conexiones a otros elementos estructurales. El sistema de aislación también incluye al sistema de restricción al viento en caso que dicho sistema se use para satisfacer los requisitos de esta norma.

Subestructura: porción de la estructura que se encuentra por debajo del nivel de aislación

Superestructura: porción de la estructura que se encuentra por sobre el nivel de aislación.

Símbolos y términos abreviados.

β_D = Coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo del sistema de aislación para el desplazamiento de diseño, B_D .

β_M = Coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo del sistema de aislación para el desplazamiento máximo, B_M .

b = Dimensión más corta de la planta de la estructura, medida perpendicularmente a d .

D_D = Desplazamiento de diseño, en milímetros (mm), en el centro de rigidez del sistema de aislación en la dirección bajo consideración.

D_{TD} = Desplazamiento total de diseño, en milímetros (mm), de un elemento del sistema de aislación incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez, D_D como la componente de desplazamiento torsional en la dirección bajo consideración.

D_{TM} = Desplazamiento total máximo, en milímetros (mm), de un elemento del sistema de aislación incluyendo tanto el desplazamiento traslacional en el centro de rigidez, D_M como la componente de desplazamiento torsional en la dirección bajo consideración.

d = Dimensión en planta más larga de la estructura.

e = Excentricidad real, en milímetros (mm), medida en planta entre el centro de masa de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislación, más la excentricidad accidental, igual a un 5% de la dimensión máxima de la planta perpendicular a la dirección de la sollicitación sísmica considerada.

g = Constante de aceleración de gravedad, (9.806 m/s²)

H_p = Altura total de la goma del aislador.

h_i = Altura en metros sobre la base hasta el nivel i .

k_{ef} = Rigidez efectiva o secante de un aislador, en kN/m.

k_{Dmax} = Rigidez efectiva o secante máxima del sistema de aislación, en kN/m, al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.

M_M = Coeficiente numérico relacionado con la respuesta al sismo máximo posible.

T_D = Período efectivo, en segundos, de la estructura aislada al desplazamiento de diseño en la dirección considerada.

T_M = Período efectivo, en segundos, de la estructura aislada al desplazamiento máximo en la dirección considerada.

V_b = Fuerza o corte lateral total de diseño sísmico en los elementos del, o por debajo del, sistema de aislación.

V_s = Fuerza o corte lateral total de diseño sísmico en los elementos de la superestructura, como se indica en ecuación y en los límites especificados.

W = Carga muerta sísmica total definida en NCh433. Para el diseño del sistema de aislación, W es el peso de la carga muerta sísmica total de la superestructura.

y = Distancia, en milímetros (m), entre el centro de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés, medida perpendicularmente a la dirección de la sollicitación sísmica considerada.

Z = Factor que depende de la zonificación sísmica.

β_{ef} = Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación y del aislador.

β_D = Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación, al desplazamiento de diseño.

β_M = Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación, al desplazamiento máximo.

γ = Deformación angular del elastómero calculada como el cociente entre la deformación de corte y la altura de goma.

μ = Coeficiente de fricción del aislador de péndulo friccional que depende de la carga máxima sobre él y la velocidad de deslizamiento.

ANEXO G. DEFINICION DE LAS PROPIEDADES BILINEALES DE LOS AISLADORES EN EL SAP2000.

A continuación se muestra en las siguientes figuras la asignación de las propiedades mecánicas de los aisladores sísmicos a través del elemento Link/Support del sap2000 v16.

– AISLADOR HDR

The figure consists of two screenshots from the SAP2000 v16 software interface.

The left screenshot shows the 'Link/Support Properties' dialog box. It has a 'Properties' list on the left containing 'HDR'. To the right of the list are buttons: 'Add New Property...', 'Add Copy of Property...', 'Modify/Show Property...', and 'Delete Property'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

The right screenshot shows the 'Link/Support Property Data' dialog box for the 'HDR' property. It includes the following sections:

- Link/Support Type:** Rubber Isolator (dropdown menu).
- Property Name:** HDR (text field).
- Property Notes:** (text area).
- Total Mass and Weight:** Fields for Mass, Weight, Rotational Inertia 1, 2, and 3.
- Factors For Line, Area and Solid Springs:** Fields for 'Property is Defined for This Length In a Line Spring' and 'Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs'.
- Directional Properties:** A table with columns 'Direction', 'Fixed', 'NonLinear', and 'Properties'.
- P-Delta Parameters:** An 'Advanced...' button.

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...
Fix All		Clear All	

Figura G1.1 Definición de las propiedades del Aislador HDR.

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	HDR
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No
Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	1496911.8
Effective Damping	141.438

Figura G1.2 Definición de las Propiedades Lineales del Aislador HDR.

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	HDR
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	1108.824
Effective Damping	141.438
Shear Deformation Location	
Distance from EndJ	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	4635.874
Yield Strength	64.902
Post Yield Stiffness Ratio	0.1783

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	HDR
Direction	U3
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	1108.824
Effective Damping	141.438
Shear Deformation Location	
Distance from EndJ	0.
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	4635.874
Yield Strength	64.902
Post Yield Stiffness Ratio	0.1783

Figura G1.3 Definición de las propiedades no lineales del aislador HDR.

– AISLADOR LRB

The image shows two software dialog boxes for defining LRB properties.

Link/Support Properties

- Properties:** A list containing 'LRB'.
- Click to:**
 - Add New Property...
 - Add Copy of Property...
 - Modify/Show Property...
 - Delete Property
- Buttons:** OK, Cancel

Link/Support Property Data

- Link/Support Type:** Rubber Isolator
- Property Name:** LRB
- Property Notes:** (Empty text area)
- Buttons:** Set Default Name, Modify/Show...
- Total Mass and Weight:**
 - Mass: 0.
 - Weight: 0.
 - Rotational Inertia 1: 0.
 - Rotational Inertia 2: 0.
 - Rotational Inertia 3: 0.
- Factors For Line, Area and Solid Springs:**
 - Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1.
 - Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.
- Directional Properties:**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...
- P-Delta Parameters:**
 - Advanced...
- Buttons:** Fix All, Clear All, OK, Cancel

Figura G1.4 Definición de las propiedades del Aislador LRB.

The image shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box.

Link/Support Directional Properties

- Identification:**
 - Property Name: LRB
 - Direction: U1
 - Type: Rubber Isolator
 - NonLinear: No
- Properties Used For All Analysis Cases:**
 - Effective Stiffness: 2890528.2
 - Effective Damping: 175.11
- Buttons:** OK, Cancel

Figura G1.5 Definición de las propiedades lineales del aislador LRB

Link/Support Directional Properties

Identification
Property Name:
Direction:
Type:
NonLinear:

Properties Used For Linear Analysis Cases
Effective Stiffness:
Effective Damping:

Shear Deformation Location
Distance from End-J:

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases
Stiffness:
Yield Strength:
Post Yield Stiffness Ratio:

Link/Support Directional Properties

Identification
Property Name:
Direction:
Type:
NonLinear:

Properties Used For Linear Analysis Cases
Effective Stiffness:
Effective Damping:

Shear Deformation Location
Distance from End-J:

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases
Stiffness:
Yield Strength:
Post Yield Stiffness Ratio:

Figura G1.6 Definición de las propiedades no lineales del aislador LRB

– AISLADOR FPS

Link/Support Properties

Properties

FPS

Click to:

Link/Support Property Data

Link/Support Type:
Property Name:
Property Notes:

Total Mass and Weight
Mass: Rotational Inertia 1:
Weight: Rotational Inertia 2:
Rotational Inertia 3:

Factors For Line, Area and Solid Springs
Property is Defined for This Length In a Line Spring:
Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs:

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U1..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U2..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for U3..."/>
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R1..."/>
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R2..."/>
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Modify/Show for R3..."/>

P-Delta Parameters

Figura G1.7 Definición de las propiedades del Aislador FPS

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: FPS

Direction: U1

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 15623524

Effective Damping: 490.341

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 54104.52

Damping Coefficient: 1.8

OK Cancel

Figura G1.8 Definición de las propiedades lineales del aislador FPS

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: FPS

Direction: U2

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 2231.932

Effective Damping: 490.341

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 54104.52

Friction Coefficient, Slow: 0.07

Friction Coefficient, Fast: 0.07

Rate Parameter: 0.

Net Pendulum Radius: 1.553

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: FPS

Direction: U3

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 2231.932

Effective Damping: 490.341

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 54104.52

Friction Coefficient, Slow: 0.07

Friction Coefficient, Fast: 0.07

Rate Parameter: 0.

Net Pendulum Radius: 1.553

OK Cancel

Figura G1.9 Definición de las propiedades no lineales del aislador LRB

– **SISTEMA MIXTO HDR+LRB**

The figure shows three screenshots of the software interface for defining Link/Support Properties.

Link/Support Properties (Left): A dialog box with a list of properties (HDR, LRB) and buttons for 'Add New Property...', 'Add Copy of Property...', 'Modify/Show Property...', 'Delete Property', 'OK', and 'Cancel'.

Link/Support Property Data (Middle): A dialog box for the HDR property. It includes fields for 'Link/Support Type' (Rubber Isolator), 'Property Name' (HDR), 'Property Notes', 'Total Mass and Weight' (Mass: 0, Weight: 0), 'Factors For Line, Area and Solid Springs' (Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1, Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1), 'Directional Properties' (Direction: U1, U2, U3, R1, R2, R3; Fixed: U1, U2, U3; NonLinear: U2, U3), and 'P-Delta Parameters' (Advanced...). Buttons include 'Set Default Name', 'Modify/Show...', 'OK', and 'Cancel'.

Link/Support Property Data (Right): A dialog box for the LRB property. It includes fields for 'Link/Support Type' (Rubber Isolator), 'Property Name' (LRB), 'Property Notes', 'Total Mass and Weight' (Mass: 0, Weight: 0), 'Factors For Line, Area and Solid Springs' (Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1, Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1), 'Directional Properties' (Direction: U1, U2, U3, R1, R2, R3; Fixed: U1, U2, U3; NonLinear: U2, U3), and 'P-Delta Parameters' (Advanced...). Buttons include 'Set Default Name', 'Modify/Show...', 'OK', and 'Cancel'.

Figura G1.10 Definición de las propiedades de los Aisladores HDR y LRB

The figure shows two screenshots of the software interface for defining Link/Support Directional Properties.

Link/Support Directional Properties (Left): A dialog box for the HDR property. It includes fields for 'Identification' (Property Name: HDR, Direction: U1, Type: Rubber Isolator, NonLinear: No) and 'Properties Used For All Analysis Cases' (Effective Stiffness: 1342780.8, Effective Damping: 400.863). Buttons include 'OK' and 'Cancel'.

Link/Support Directional Properties (Right): A dialog box for the LRB property. It includes fields for 'Identification' (Property Name: LRB, Direction: U1, Type: Rubber Isolator, NonLinear: No) and 'Properties Used For All Analysis Cases' (Effective Stiffness: 2890528.2, Effective Damping: 491.997). Buttons include 'OK' and 'Cancel'.

Figura G1.11 Definición de las propiedades lineales del aislador HDR y LRB

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 2126.537

Effective Damping: 491.993

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 13527.27

Yield Strength: 148.8

Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: HDR

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1352.727

Effective Damping: 400.863

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 8167.7

Yield Strength: 89.845

Post Yield Stiffness Ratio: 0.1072

OK Cancel

Figura G1.12 Definición de las propiedades lineales de los Aisladores HDR y LRB

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: HDR

Direction: U3

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 1352.727

Effective Damping: 400.863

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 8167.7

Yield Strength: 89.845

Post Yield Stiffness Ratio: 0.1072

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB

Direction: U3

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 2126.537

Effective Damping: 491.993

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 13527.27

Yield Strength: 148.8

Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

OK Cancel

Figura G1.13 Definición de las propiedades no lineales de los Aisladores HDR y LRB

ANEXO H. EJEMPLO DE DISEÑO DEL AISLADOR HDR A TRAVÉS DE UNA HOJA DE CÁLCULO ELABORADA EN EXCEL.

Propiedades del sistema de aisladores		
Propiedades	Unidades	Aislador HDR
Modulo de rigidez a cortante	Kpa	550
Maxima deformacion por cortante		1.5
Tension admisible de compresion	KN/m ²	16000
Carga total de la estructura W	KN	51417.87
masa	KN.seg ² /m	5241.373089
PMAX	KN	5198.59
PMIN	KN	632.41
β_d		0.08
Amortiguamiento compuesto		15
Periodo de diseño (T_D)	seg.	2.5
Periodo maximo de la estructura (T_M)	seg.	3
Numero de aisladores		24
Diametro inicial	m	0.1

Tabla H1.1 Datos de Entrada

Amortiguamiento Efectivo	Bd
≤ 2	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2

Tabla H1.2 Amortiguamiento Efectivo

Aceleración(cm/seg ²)	Periodo de retorno		
	500	1000	2500
PGA	507	605	763
SA(0.1s)	1298	1584	2061
SA(0.2s)	1138	1392	1782
SA(0.5 s)	586	710	903
SA(1s)	288	351	453
SA(2 s)	122	152	200

Tabla H1.3 Aceleración mapeada de Managua

Factor de amplificación de suelo para periodos cortos Fa					
	Respuesta espectrales para periodo corto				
Tipo de suelo	Ss<0.25	Ss=0.5	Ss=0.75	Ss=1	Ss>1.25
Afloramiento Rocoso	1	1	1	1	1
Suelo Firme	1.2	1.2	1.1	1	1
Suelo moderadamente blando	1.6	1.4	1.2	1.1	1
Suelo muy blando	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Tabla H1.4 Factor de amplificación del suelo para periodos cortos

Factor de amplificación de suelo para periodo de 1 segundo Fv					
	Respuesta espectrales para periodo corto				
Tipo de suelo	S1 <0.1	S1=0.2	S1=0.3	S1=0.4	S1>0.5
Afloramiento Rocoso	1	1	1	1	1
Suelo Firme	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Suelo moderadamente blando	2.4	2	1.8	1.6	1.5
Suelo muy blando	3.52	3.2	2.8	2.4	2.4

Tabla H1.5 Factor de amplificación del suelo para periodos de 1 segundo

Calculo de aceleraciones espectrales segun Asce 7				
tipo de suelo	suelo firme	afloramiento rocoso	Suelo moderadamente blando	Suelo muy blando
Ss	1.816513761			
s1	0.4617737			
Fa	1	1	1	0.9
Fv	1.338	1	1.54	2.40

Tabla H1.6 Determinación de los factores de sitio según el tipo de suelo y aceleración mapeada.

SMS(Fa*SS)	1.816513761	1.816513761	1.816513761	1.634862385
SM1(Fv*S1)	0.61795771	0.4617737	0.71031245	1.108256881
SDS	1.211009174	1.211009174	1.211009174	1.089908257
SD1	0.411971807	0.307849134	0.473541634	0.73883792

Tabla H1.7 Calculo de las aceleraciones espectrales máximas y de diseño

Calculo de las propiedades para la modelacion bilinial del aislador		
Rigidez horizontal(KN/m)	$K_H = \frac{G * A}{t_r}$	1595
Energia Disipada(KN.m)	$W_D = 2 * \pi * K_H * D_D^2 * \beta$	54.02537984
Coefficiente	λ	0.1
Deformacion elastica(m)	$D_Y = \lambda * H_r$	0.013
Capacidad a cero deformacion(KN)	$Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_Y)}$	76.49033048
Rigidez post-fluencia(KN/m)	$K_2 = K_H - \frac{Q}{D_D}$	1191.51859
Rigidez pre-fluencia(KN/m)	$K_1 = \frac{Q}{D_Y} + K_2$	7075.390165
Fuerza de Fluencia(KN)	$F_Y = K_1 * D_Y$	91.98007214

Tabla H1.8 Propiedades preliminares del aislador HDR

Parametros de los aisladores HDR				
	Formulas	Resultado		
Coefficiente de Amortiguamiento		1.35		
Desplazamiento de Diseño(m)	$D_D = \frac{gSD_1T_D}{4\pi^2\beta_d}$	0.189575848		
Desplazamiento Maximo(m)	$D_M = \frac{gSM_1T_M}{4\pi^2\beta_d}$	0.341236526		
Rigidez Total de aisladores(kN/m)	$k_H = M * \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$	33107.3785		
Rigidez de un aislador(KN/m)	$k_H = \frac{k_{HTOTAL}}{N}$	1379.474104		
Altura del aislador(m)	$t_r = \frac{D_D}{\gamma}$	0.13		
Area del aislador basado en el esfuerzo de compresion(m2)	$A_1 = \frac{P_{MAX}}{\sigma_{AC}}$	0.3249		
Diametro Externo del aislador(m)	$D_e = \sqrt{\frac{4 * A_1}{\pi} + D_i^2}$	0.651	usar diametro=	0.7
Area del aislador basado en el modulo de cortante(m2)	$A_2 = \frac{K_H * t_r}{G}$	0.326057516		
Diametro del asilador basado en el modulo de cortante(m)	$D_e = \sqrt{\frac{4 * A_2}{\pi} + D_i^2}$	0.652		
Nueva area calculada(m2)	$A = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2)$	0.377		
espesor de cada capa de goma(m)	t	0.006		
Factor de forma	$S = \frac{D_e - D_i}{4 * t}$	25		
numeros de capa de gauchio	$n = \frac{t_r}{t}$	22		
Espesor propuesto de las laminas de acero(m)	t_s	0.003		
esfuerzo de trabajo de las laminas de acero(KN/m2)	$\sigma_S = 1.5 * \frac{t}{t_s} * \sigma_{AC}$	48000		
Esfuerzo de fluencia del acero(KN/m2)	σ_Y	250000		
Esfuerzo admisible del acero(KN/m2)	$\sigma_{adm} = 0.75 * \sigma_Y$	187500		
Espesor propuesto de la placa de anclaje(m)	t_{placas}	0.025		
Altura total del aislador(m)	$H_T = t_r + (n - 1) * t_s + 2 * t_{placas}$	0.243		
Modulo de compresibilidad de la goma(kn/m2)	K	2000000		
Modulo de elasticidad del caucho y acero (kn/m2)	$E_C = \left(\frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * K}\right)^{-1}$	868421.0526		
Rigidez vertical(kn/m)	$K_V = \frac{E_C * A}{t_r}$	2518421.053		
Frecuencia horizontal(hertz)	$f_H = \frac{1}{T_D}$	0.4		
Frecuencia vertical(hertz)	$f_V = \sqrt{6 * S * f_h}$	24.49489743		

Tabla H1.9: Calculo de las propiedades bilineales del aislador HDR.

Coeficiente de seguridad a pandeo		
Inercia del aislador	$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{D_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_i}{2} \right)^4 \right]$	0.011780972
Carga de Pandeo de Euler del aislador A(KN)	$P_E = \frac{\pi^2 * E_c * I}{3 * t_r^2}$	1991605.283
Area de Cortante Efectiva	$A_s = A * \frac{H_r}{t_r}$	0.7047
Rigidez de cortante del aislador A(KN)	$P_s = G * A_s$	387.585
Carga critica	$P_{crit.} = \frac{P_s}{2} \left(\sqrt{1 + 4 * \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right)$	27783.05819
Coeficiente de seguridad de pandeo	$F_s = \frac{P_{crit.}}{P_{max}}$	5.344344945

Tabla H1.10 Calculo del coeficiente de seguridad de pandeo del aislador HDR